DT - 3

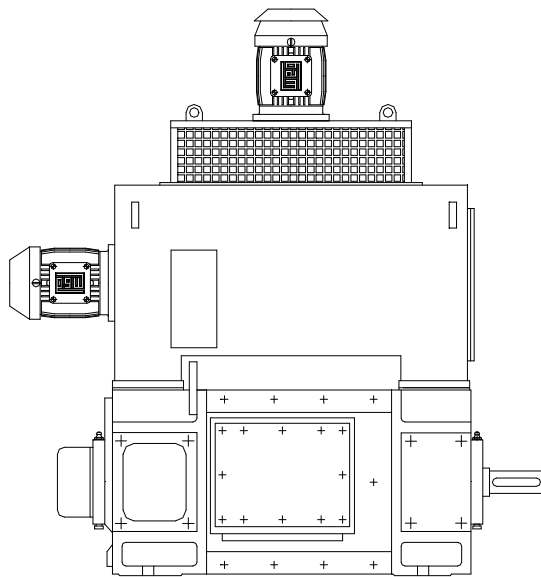
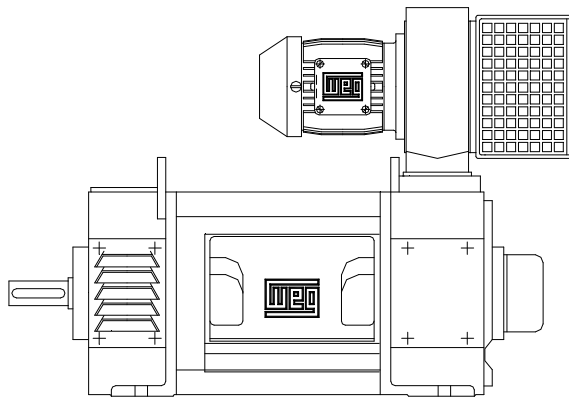
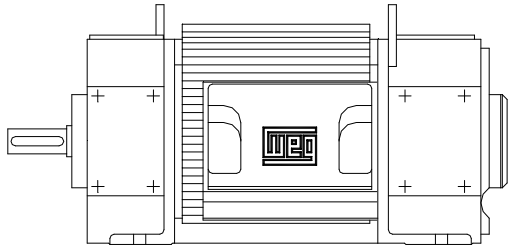
CARACTERÍSTICAS

E ESPECIFICAÇÕES

DE MOTORES DE

CORRENTE CONTÍNUA E

CONVERSORES CA/CC

Transformando energia
em soluções

PREFÁCIO

Onde quer que haja progresso, a presença do motor elétrico é imprescindível.
É ele quem aciona máquinas e equipamentos, a serviço do homem.

O motor elétrico, por desempenhar um papel de relevância em nossos dias,
deve ser conhecido, especialmente quanto a seus princípios de funcionamento e
construção e os seus critérios de seleção.

A apostila de ***Características e Especificações de Motores de Corrente Contínua e Conversores CA/CC*** é um trabalho despretensioso.
Longe de desejar transmitir ensinamentos profundos aos conhecedores da matéria,
busca, através de sua linguagem simples e objetiva,
suplementar o conhecimento daqueles que especificam, compram e vendem.

É recomendado também para estudantes de nível médio e superior,
em especial para os que freqüentam as cadeiras de máquinas e motores.

Deseja-se, sobretudo, prestar mais um serviço de colaboração e orientação,
que auxiliem as pessoas a usarem corretamente esse importante instrumento
de trabalho que é o motor elétrico.

WEG INDÚSTRIAS S.A. - MÁQUINAS

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO

Nos tempos atuais, é constante a exigência de aperfeiçoamento nos métodos de produção, bem como racionalização deles, mediante a automação e o controle dos processos envolvidos.

Devido a este fato, mais e mais há a necessidade de controle e variação de velocidade e torque em máquinas elétricas acionantes.

Inicialmente conseguiu-se variações de velocidade mediante o uso de **sistemas mecânicos**, como caixas de engrenagens, correias e polias, o que muito limita os processos e as máquinas.

Posteriormente, apareceram aplicações onde o controle de rotação é feito mediante o uso de motores de indução (gaiola) e acoplamentos magnéticos. Este método, porém, apresenta um baixo rendimento, causado pelas altas perdas elétricas do acoplamento.

Outra forma de se controlar velocidade é através de motores de anéis, mediante a ajuste da resistência rotórica através de um reostato externo. Este método apresenta um grande inconveniente que é a baixa precisão no controle da velocidade. Por isto é usado apenas na partida destes motores.

Os motores de corrente contínua surgiram como uma forma de solucionar os problemas acima, pois sua velocidade pode ser continuamente alterada mediante a variação da tensão de alimentação. Além disso, os motores CC apresentam torque constante em toda a faixa de velocidade - salvo se em região de enfraquecimento de campo, como veremos a seguir. Inicialmente os motores CC eram alimentados por geradores de corrente contínua, o que exigia o uso de duas máquinas (sistema WARD-LEONARD).

Posteriormente, com o advento dos semicondutores de potência, apareceram os conversores estáticos à ponte tiristorizada, que é o método mais usado e difundido atualmente.

Os sistemas de velocidade variável utilizando motores de corrente contínua e conversores estáticos aliam grandes faixas de variação de velocidade, robustez e precisão à economia de energia, o que garante um ótimo desempenho e flexibilidade nas mais variadas situações.

Mais recentemente surgiu o controle de velocidade de motores de indução (gaiola) mediante a variação da freqüência de alimentação, através de conversor CA/CA. Este método necessita alguns cuidados em aplicações que exijam baixas rotações e/ou sistemas sincronizados.

2. NOÇÕES FUNDAMENTAIS

2.1. PRINCIPAIS PARTES CONSTRUTIVAS DE UMA MCC

O motor de CC é composto fundamentalmente de duas partes: estator e rotor.

Estator é formado por:

Carcaça
É a estrutura suporte do conjunto, também tem a finalidade de conduzir o fluxo magnético.

Pólos de excitação
Têm a finalidade de gerar o fluxo magnético. São constituídos de condutores enrolados sobre núcleos de chapas de aço laminadas cujas extremidades possuem um formato que se ajusta a armadura e são chamadas de sapatas polares.

Pólos de comutação
São colocados na região interpolar e são percorridos pela corrente de armadura. Sua finalidade é compensar o efeito da reação da armadura na região de comutação, evitando o deslocamento da linha neutra em carga, reduzindo a possibilidade de centelhamento.

Enrolamento de Compensação
É um enrolamento distribuído na periferia da sapata polar e percorrido pela corrente de armadura. Sua finalidade é também compensar a reação da armadura, mas agora em toda periferia do rotor, e não somente na região transversal. Evita o aparecimento de faíscas provocadas por uma diferença de potencial entre espiras devido a distribuição não uniforme da indução no entreferro.

Conjunto Porta Escovas e Escovas
O porta escovas permite alojar as escovas e está montado de tal modo que possa ser girado para o ajuste da zona neutra. As escovas são compostas de material condutor e deslizam sobre o comutador quando este gira, pressionadas por uma mola, proporcionando a ligação elétrica entre a armadura e o exterior.

Rotor é formado por:

Rotor com Enrolamento
Centrado no interior da carcaça, é constituído por um pacote de chapas de aço silício laminadas, com ranhuras axiais na periferia para acomodar o enrolamento da armadura. Este enrolamento está em contato elétrico com as lâminas do comutador.

Comutador
É o conversor mecânico que transfere a energia ao enrolamento do rotor. O comutador é constituído de lâminas de cobre isoladas uma das outras por meio de lâminas de mica.

Eixo
É o elemento que transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor.

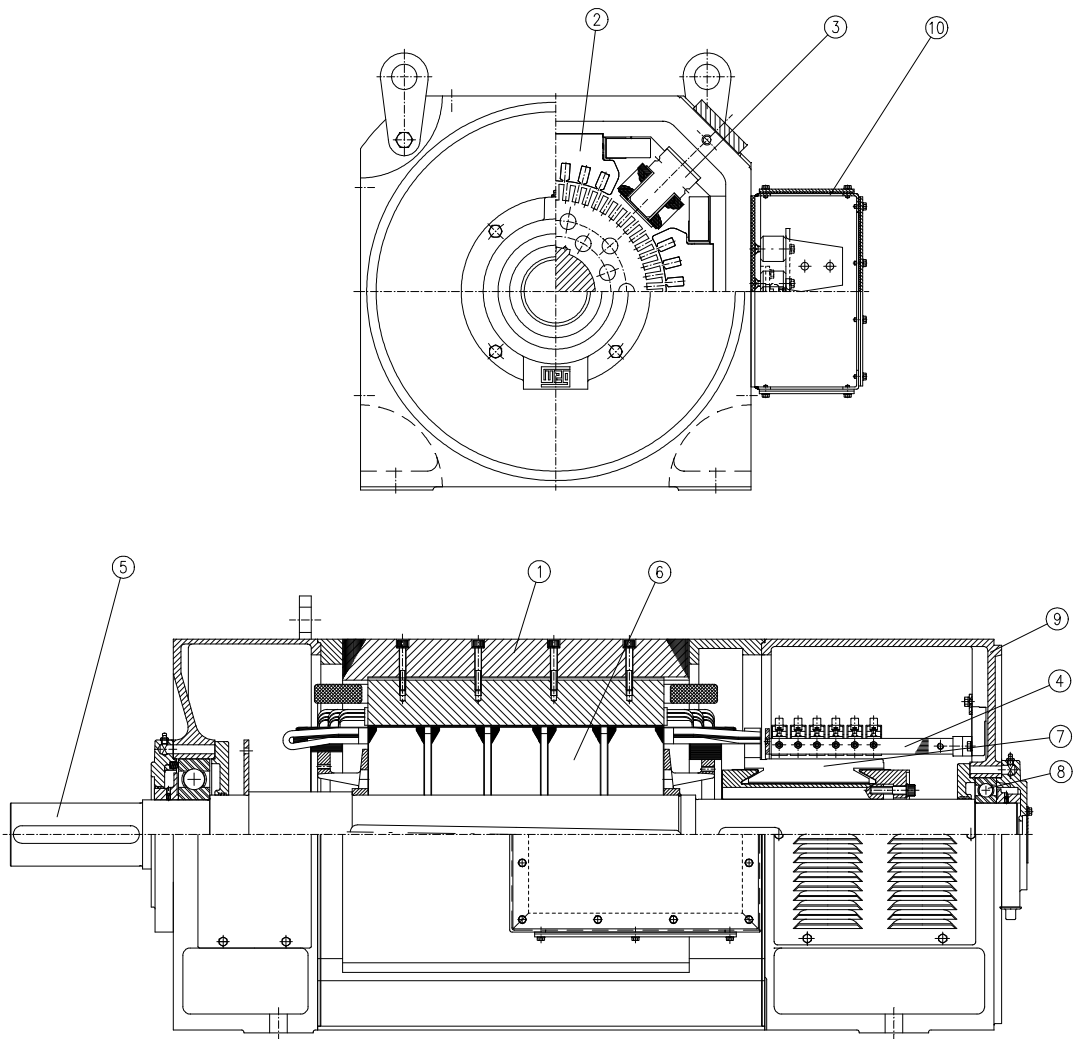
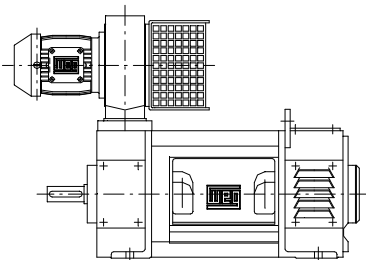
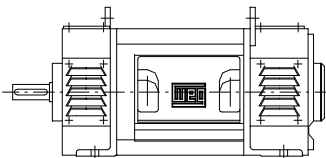
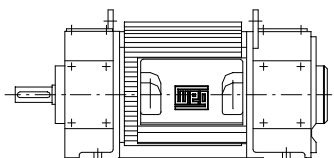
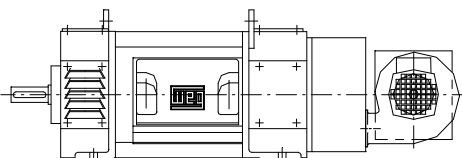
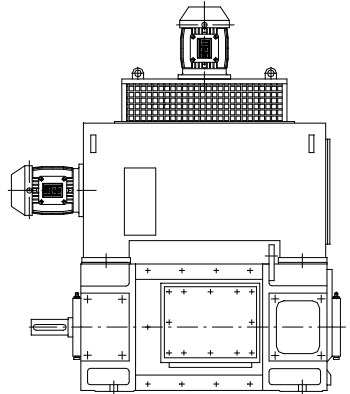
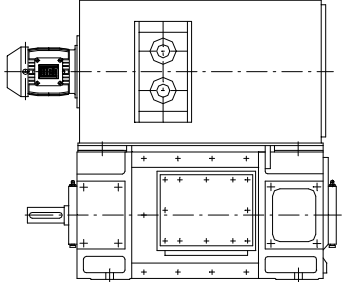



Figura 2.1.1. - Principais partes construtivas.

1. Coroa.
2. Pólo de excitação com enrolamento.
3. Pólo de comutação com enrolamento.
4. Portas escovas.
5. Eixo.
6. Pacote de chapas do rotor com enrolamento.
7. Comutador.
8. Rolamentos.
9. Mancal.
10. Caixa de ligações.

2.2. IDENTIFICAÇÃO DA MÁQUINA

A identificação da máquina é a referência do fabricante e é composta por uma combinação de letras e algarismos, conforme abaixo:

Carcaça 90 a 132: S - tampa curta (tamanho único)
Carcaça 160 a 450: S - tampa curta
M - tampa média
Carcaça 500: S - tampa curta
M - tampa média
L - tampa longa
Carcaça 560 a 900: A, B, C (diferentes tamanhos de tampas)

2.3. TIPOS DE VENTILAÇÃO

DNF / DCF

. Ventilacão forcada (independente)
. Aberto (IP23S / IC06)

DND / DCD

. Ventilacão forcada por dutos – (IP23S / IC17)
– (IPR44-55 / IC37)

DNS / DCS

. Auto ventilado
. Aberto (IP23S / IC01)

DNE / DCE

. Sem ventilacão
. Fechado (IP44 a IP(W)55 / IC410)

DNX / DCX

. Ventilacão forcada (independente) axial
. Aberto (IP23S / IC06)

DNA / DCA

. Ventilacão por meio de trocador de calor ar-ar
. Fechado (IP44 a IP(W)55 / IC666)

DNW / DCW

. Ventilacão por meio de trocador de calor ar-água
. Fechado (IP44 a IP(W)55 / IC 87W)

2.4. CONSTRUÇÃO E LIGAÇÃO

O estator do motor de corrente contínua sustenta os pólos principais e os pólos de comutação (interpólos). Nos pólos principais localiza-se o enrolamento de excitação principal (F1-F2), eventualmente também o enrolamento série de excitação auxiliar (D1-D2) e, em casos especiais, o enrolamento de compensação (C1-C2), montado nas sapatas polares. Nos interpólos têm-se as bobinas do enrolamento de comutação (B1-B2).

No rotor da máquina se encontra o enrolamento da armadura (A1-A2) e o comutador de corrente.

A figura 2.4.1 mostra a disposição dos pólos e enrolamentos e o sentido dos respectivos campos.

A figura 2.4.2, por outro lado, ilustra as ligações do motor CC, com a identificação dos enrolamentos e dos eixos dos campos.

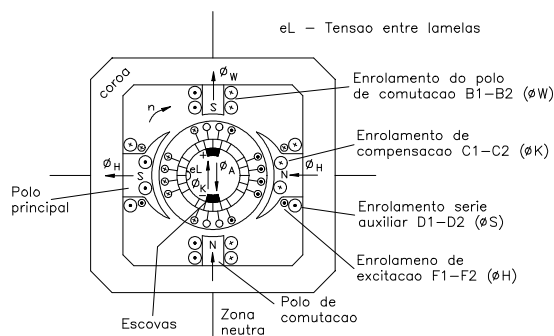



Figura 2.4.1. - Construção de uma Máquina de Corrente Contínua.

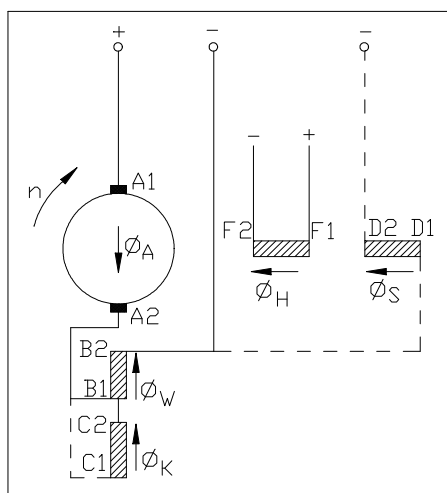



Figura 2.4.2. - Ligação de uma Máquina de Corrente Contínua.

Se houver necessidade, pode ser adicionado o enrolamento em série auxiliar (D1-D2) sobre os pólos principais, percorrido pela corrente da armadura.

O campo S deve atuar contra a reação da armadura (ação enfraquecedora) e auxiliar o campo principal H. Por este motivo, o sentido da corrente no enrolamento auxiliar deve permanecer sempre igual ao sentido da corrente no enrolamento de excitação, também quando ocorrer a inversão da corrente de armadura.

O enrolamento de compensação (C1-C2) está localizado nas sapatas polares dos pólos principais e também por ele passa a corrente de armadura. Seu campo deve anular totalmente o campo transversal A. O considerável custo adicional que o enrolamento de compensação representa é justificável apenas em motores com altas sobrecorrentes e amplas faixas de controle de velocidade pelo campo.

2.5. PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

O funcionamento de um motor de corrente contínua (MCC) está baseado nas forças produzidas da interação entre o campo magnético e a corrente de armadura no rotor, que tendem a mover o condutor num sentido que depende do sentido do campo e da corrente na armadura (regra de Fleming ou da mão direita).

A figura 2.5.1 mostra o sentido das forças que agem sobre uma espira. Sob a ação da força a espira irá se movimentar até a posição X-Y onde a força resultante é nula, não dando continuidade ao movimento. Torna-se então, necessário a inversão da corrente na espira para que tenhamos um movimento contínuo. Este problema é resolvido utilizando um comutador de corrente.

Este comutador possibilita a circulação de corrente alternada no rotor através de uma fonte CC.

Para se obter um conjugado constante durante todo um giro da armadura do motor utilizamos várias espiras defasadas no espaço montadas sobre um tambor e conectadas ao comutador.

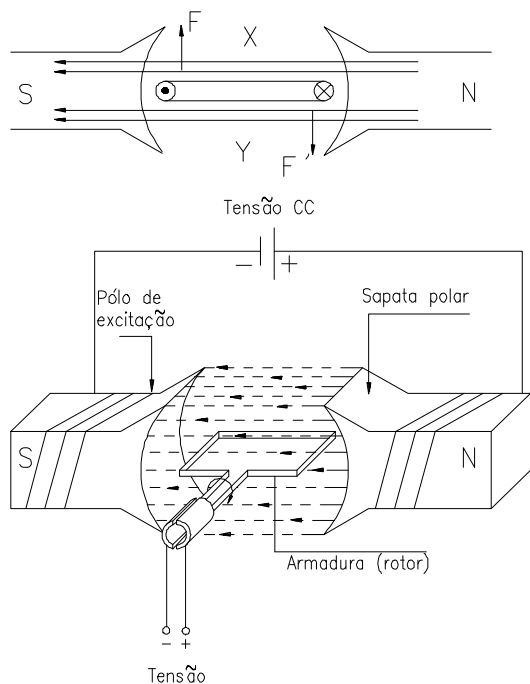



Figura 2.5.1. - Forças que atuam em uma espira imersa num campo magnético, percorrida pela corrente de armadura.

Com o deslocamento dos condutores da armadura no campo surgem tensões induzidas (força contraeletromotriz fcem), atuando no sentido contrário ao da tensão aplicada.
A força contraeletromotriz E é proporcional à velocidade e ao fluxo magnético.

$$E = n \cdot \Phi \cdot CE \quad (1)$$

n - rotação.
Φ - fluxo magnético.
CE - constante.

A soma das forças que atuam sobre os condutores do induzido cria o conjugado eletromagnético dado por:

$$C = Cm \cdot \Phi \cdot IA \quad (2)$$

IA - corrente de armadura.
Cm - constante.

A potência útil (nominal em W) que o motor desenvolve pode ser dada por:

Potência útil (W) = UA . I . η

UA - tensão armadura.
I - corrente nominal.
η - rendimento.
O circuito equivalente da máquina CC pode ser representado conforme figura 2.5.2.

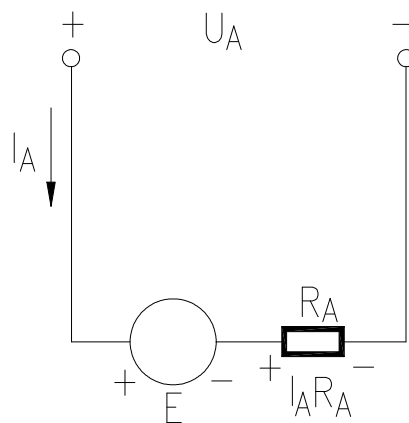



Figura 2.5.2. - Circuito equivalente de uma Máquina CC.

Analisando, temos:

$$UA - E - I_A \ R_A = 0$$

R_A - resistência do circuito da armadura.
UA - tensão de armadura.
I_A - corrente de armadura.

Das equações (1) e (3) pode-se obter uma relação que fornece a velocidade da máquina em função das outras grandezas envolvidas.

$$n = \frac{E}{CE. \Phi} = \frac{UA - I_A \ R_A}{CE. \Phi} \quad (4)$$

Com as grandezas: tensão de armadura, corrente de armadura e fluxo magnético, a partir das equações (2) e (4), pode-se obter o comportamento do motor para os tipos básicos de excitação.

2.6. TIPOS BÁSICOS DE EXCITAÇÃO

2.6.1. Excitação Independente

A rotação do motor pode ser alterada, conforme a equação (4), mantendo o fluxo (Φ) constante e variando a tensão de armadura (controle de armadura), ou mantendo a tensão de armadura fixa e alterando o fluxo (controle pelo campo).

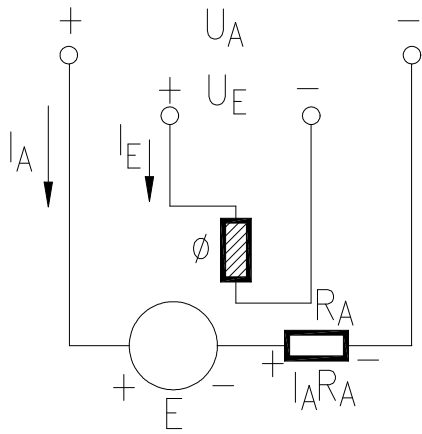



Figura 2.6.1. - Diagrama elétrico de uma Máquina CC ligação independente.

U_E - tensão de campo.
I_E - corrente de campo.

Alterar fluxo magnético significa modificar corrente de campo.
No controle pela armadura para I_A = constante, o torque é constante e a potência proporcional a rotação:

$$P = Pn \frac{n}{n_N}$$

n_N - rotação nominal.
Pn - potência nominal.

No controle de campo, para IA = constante, o torque é inversamente proporcional à rotação e a potência é constante.

$$C = Cn \frac{n_N}{n}$$

Cn - conjugado nominal.

Em consideração a comutação e para se ter um controle estável, a corrente de armadura poderá ser nominal somente até a rotação máxima n_M (quebra de comutação).

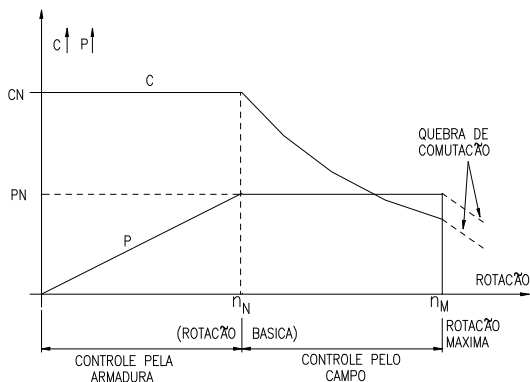



Figura 2.6.2. - Curvas características do motor de excitação independente.

A regulagem pela armadura é usada para acionamentos de máquinas operatrizes em geral, como: ferramentas de avanço, torque de fricção, bombas a pistão, compressores, etc.

A regulagem de campo por sua vez é usada para acionamento de máquinas de corte periférico, como em chapeamento de toras, tornos, bobinadeiras, máquinas têxteis, etc.

2.6.2. Excitação Série

Na figura 2.6.3. pode-se verificar que a corrente de armadura passa pelo enrolamento de campo, sendo responsável pelo fluxo gerado. Enquanto não é atingida a saturação magnética, a velocidade do motor diminui de forma inversamente proporcional à intensidade de corrente de armadura.

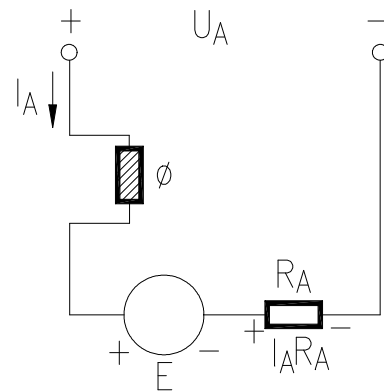



Figura 2.6.3. - Diagrama elétrico de uma máquina CC ligação série.

Da equação (2) pode se verificar nos motores série que o torque é proporcional ao quadrado da corrente enquanto o circuito magnético não está saturado (Figura 2.6.4).

$C = Cm . \Phi . I_A$

Então, $C \approx I_A^2$

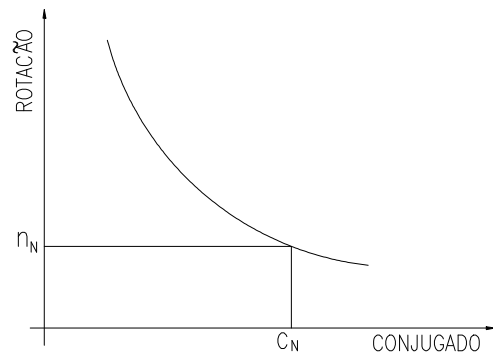



Figura 2.6.4. - Curva característica do motor série.

Portanto o motor série pode trabalhar em regimes de sobrecarga, sendo o aumento do consumo de corrente relativamente moderado.
Esta propriedade é essencialmente valiosa para a tração elétrica, acionamentos de guindaste, etc.
Deve-se ter em conta que no caso da redução da carga, a velocidade do motor se torna tão grande que as forças centrífugas podem destruir o seu induzido. Por isso, quando a tensão é nominal, não se deve colocar em funcionamento o motor com uma carga muito reduzida.

2.6.3. Excitação Composta

Muitas vezes desejamos um motor com características intermediárias. É esta a característica do motor de excitação composta. Este motor possui dois enrolamentos, um série e outro paralelo (Figura 2.6.5). Na maioria dos casos os dois enrolamentos são acoplados de forma que os fluxos magnéticos se adicionem.

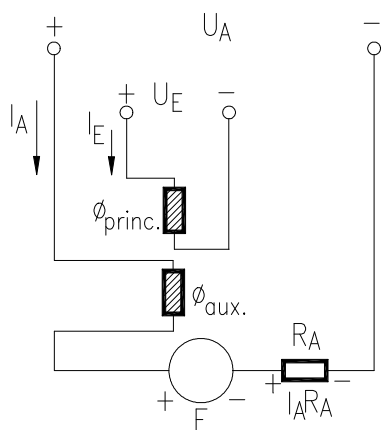



Figura 2.6.5. - Diagrama elétrico de uma máquina CC de excitação composta.

Este tipo de excitação é ideal para acionamentos com variações bruscas de carga (ex.: prensa), e para se obter um comportamento mais estável da máquina (Figura 2.6.6).

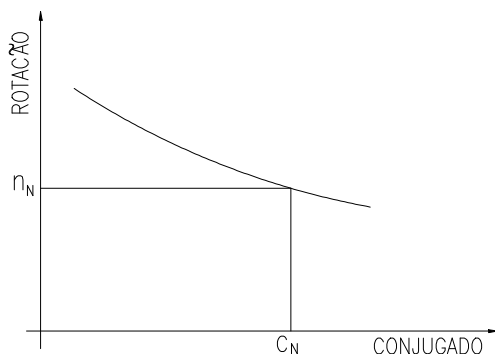



Figura 2.6.6. - Curva característica do motor de excitação composta.

2.7. ESQUEMAS BÁSICOS DE LIGAÇÃO

2.7.1. Sentido de Rotação

No enrolamento de excitação a corrente flui do número característico 1 para o número 2 (Ex.: F1 ligado no "+" e F2 ligado no "-").
No sentido de rotação à direita, A1 deverá ser positivo.
Para uma máquina com apenas uma ponta de eixo, ou com duas pontas de eixo de diâmetro diferente, vale como sentido de rotação aquele do rotor que se pode observar quando se olha do lado frontal da ponta de eixo ou da ponta de eixo de maior diâmetro.
Em pontas de eixo de diâmetro igual, deve-se observar a partir do lado afastado do comutador.

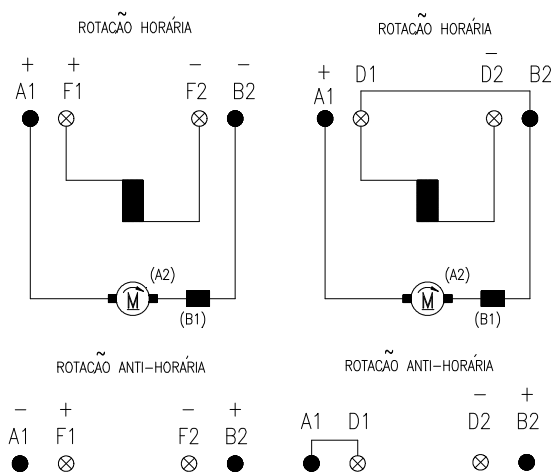



Figura 2.7.1. - Inversão do sentido de rotação.

OPERAÇÃO COMO MOTOR:
A corrente flui no enrolamento da armadura da escova "+" para "-".

OPERAÇÃO COMO GERADOR:
A corrente flui no enrolamento da armadura da escova "-" para a "+".

2.7.2. Especificação dos Bornes

Enrolamento de armadura	
Enrolamento do pólo de comutação	B1 início B2 fim
Enrolamento de compensação	C1 início C2 fim
Enrolamento de excitação ligação em série	D1 início D2 fim
Enrolamento de excitação ligação em derivação	E1 início E2 fim
Enrolamento de excitação independente	F1 início F2 fim

2.8. FONTES DE ALIMENTAÇÃO

Para se obter uma tensão CC de nível variável podem se utilizar vários métodos, alguns deles descritos a seguir:

a) Chaves de Partida

A corrente de armadura e do campo pode ser ajustado através de resistências variáveis em escalas.
A desvantagem é o elevado calor de perdas gerado.

b) Sistema Ward-Leornard

A exigência por acionamentos com regulação rápida da rotação sem escalamentos foi satisfeita pelo sistema de regulação Ward-Leornard.
A rotação do motor CC pode ser alterada continuamente através da variação da corrente de excitação do gerador. Sua desvantagem é a utilização de no mínimo 3 máquinas.

c) Conversores Estáticos

Estes conversores compõem-se basicamente de uma ponte retificadora tiristorizada que fornece corrente contínua com tensão variável a partir de uma tensão alternada.
Os conversores podem ser alimentados por rede trifásica em 220, 380 ou 440V ou por rede monofásica, conectados entre fase e neutro ou entre fase e fase. Isto vai depender basicamente da potência do motor e de sua aplicação no sistema a acionar.

2.8.1. Tensões Usuais - Acionamentos CC

Tensão de Alimentação (V)					
Monofásica			Trifásica		
220	380	440	220	380	440
Tensão de Armadura					
170					
			230		
			260		
	300				
		340			
				400	
				460	460
					520
Tensão de Campo					
190			190		
	310			310	

2.9. FATOR DE FORMA

Os motores são projetados para o tipo de alimentação especificado. Pode surgir um fator de forma ff de, no máximo, 1,2 quando a alimentação é feita através de uma ponte monofásica. Isto significa que o valor efetivo da corrente pode ser de até 1,2 x I_A. Isto precisa ser levado em consideração na escolha de fusíveis e dos cabos de conexão e ligação. O fator de forma é a relação entre o valor eficaz e o valor médio da corrente fornecida à armadura.

$$ff = \frac{\text{Corrente de armadura eficaz}}{\text{Corrente de armadura média}}$$

$$W_i = 100\sqrt{ff^2 - 1} \quad (\%)$$

A corrente contínua obtida de um conversor contém certa amplitude de ondulação (ripple), avaliada pelo fator de forma. Esta ondulação afeta a potência da máquina , pois piora as condições de comutação e aumenta as perdas no ferro e no cobre, aumentando o aquecimento. Assim a potência do motor deve ser diminuída, dependendo do fator de forma da corrente fornecida à armadura.

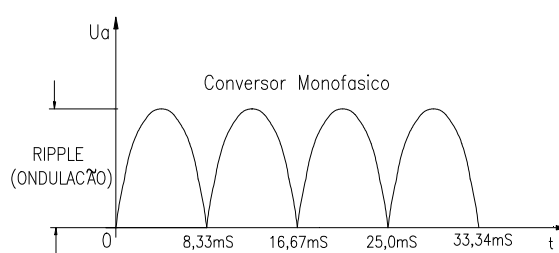
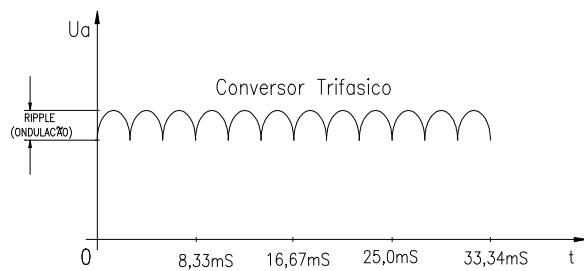



Figura 2.9.1. - Ondulação da tensão em conversores CC.

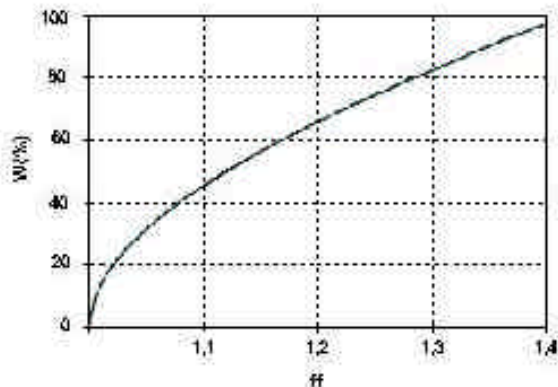



Figura 2.9.2. - Ondulação da corrente em função do fator de forma.

Para diminuir o fator de forma, deve-se diminuir a amplitude de ondulação. Isto é conseguido com o aumento da indutância do circuito da armadura. As máquinas WEG têm elevada indutância própria, reduzindo a ondulação.
No entanto, conversores monofásicos fornecem corrente com ondulação muito alta, sendo necessário instalar uma indutância (reatância) externa em série com a armadura (Figura 2.9.3).

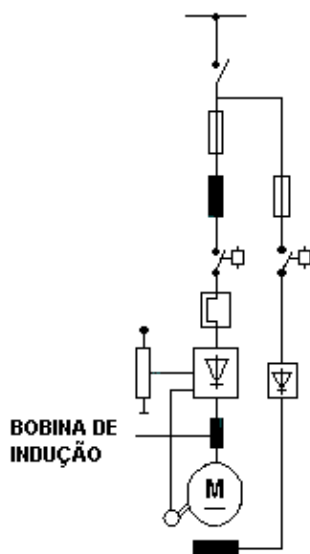



Figura 2.9.3. - Posição da bobina no diagrama unifilar.

2.10. DETERMINAÇÃO DA BOBINA DE INDUÇÃO

A indutância que deverá ser colocada em série com a armadura é determinada através da equação abaixo:

$$Lext \geq K1 . \frac{Un}{Ia} - La \qquad (mH)$$

Un - tensão alternada da rede (V).
Ia - corrente de armadura (V).
La - indutância própria da armadura (mH).
K1 - constante (tabela 2.10.1).

A indutância da armadura La pode ser estimada através da equação:

$$La = K2 . \left(\frac{Ua}{nN}\right)^{1,7} \qquad (mH)$$

Ua - tensão de armadura (V).
nN - rotação nominal (rpm).
K2 - constante (tabela 2.10.2).

Caso desejar-se calcular a resistência da armadura deve ser utilizada a seguinte equação:

$$Ra = K3 . \left(\frac{Ua}{nN}\right)^{1,8} \qquad (mH)$$

K3 - constante (tabela (2.10.2).

Tabela 2.10.1 - Constante K1.

$\frac{Ua}{Un}$	K1	
	Conversor Monofásico Totalmente Controlado	**Conversor Monofásico Semi Controlado**
0,9	1,35	1,35
0,82	1,53	1,49
0,77	1,76	1,69
0,73	1,85	1,71
0,68	2,02	1,76
0,64	2,07	1,75
0,63	2,16	1,75
0,59	2,25	1,71
0,54	2,34	1,67
0,50	2,34	1,58

Tabela 2.10.2. - Constantes para o cálculo de La e Ra.

PACOTE	K2							
	DNF DND	DNX	DNE	DNA	DNF DND	DNX	DNE	DNA
090.070	895	1100	1708	-	280	300	525	-
090.100	671	850	1280	-	180	190	323	-
090.140	529	710	976	-	118	130	215	-
090.200	407	570	773	-	80	90	147	-
100.110	508	580	813	-	80	85	136	-
100.150	-	-	630	-	-	-	94	--
100.210	-	-	529	-	-	-	64,5	
112.100	346	420	-	-	60	60	-	-
112.130	285	330	-	-	41	45	-	-
112.170	264	295	366	-	33	33	51	-
112.120	175	225	-	-	28	30	-	-
112.240	-	-	305	-	-	-	35,2	-
112.160	144	175	-	-	20	20	-	-
112.210	112	150	173	-	13	16	25,6	-
112.270	-	-	118	-	-	-	18,5	-
132.130	112	135	218	-	12,5	12	22	-
132.180	85	105	163	-	7,8	8,5	14,3	-
132.240	69	85	128	-	5,7	6	10,4	-
132.320	-	-	110	-	-	-	8	-
160.150	72	77	-	83	5,9	6,2	-	7
160.190	62	66	-	72	4,4	4,6	-	5,2
160.240	51	53	84	60	3,2	3,55	7,2	3,8
160.300	42	45	69	51	2,65	2,75	5,8	3
160.370	-	-	73	-	-	-	4,8	-
180.180	39	39	-	-	3,2	3,35	-	-
180.220	33	35	-	39	2,45	2,62	-	3
180.270	25,5	27	51	33	1,94	2,15	4,9	2,45
180.330	23,5	23	43	26,5	1,56	1,75	3,7	1,93
180.400	-	-	39	-	-	-	3,9	-

PACOTE		K2			K3		
		DC(N)F DC(N)D	DC(N)X	DC(N)A	DC(N)F DC(N)D	DC(N)X	DC(N)W
200.200		31,5	32	-	1,8	1,87	-
200.240		26	27	36	1,4	1,5	1,97
200.280		23	23,5	31,5	1,14	1,18	1,55
200.330		18,5	22	27,5	0,95	1,09	1,4
200.400		18	19	22	0,9	0,88	1,1
225.250		19	-	21,5	0,98	-	1,15
225.290		16	17,5	20,3	0,78	0,88	1,0
225.340		13	15,5	17	0,63	0,705	0,8
225.400		11,7	14	15	0,5	0,580	0,65
Não Compensado	250.290	12	13	15,3	0,5	0,53	0,68
	250.340	10,5	11,5	15,3	0,4	0,445	0,48
	250.400	9,2	10,8	13	0,31	0,39	0,47
	250.470	8,5	9,5	11,5	0,29	0,32	0,39
Compensado	250.210	10,5	10	13,6	1,07	1,15	1,34
	250.250	9	8,7	10,5	0,85	0,94	1,2
	250.290	7,5	7,7	10,7	0,67	0,705	0,91
	250.340	6,5	6,5	7,8	0,56	0,627	0,752
	250.400	5,2	5	6,3	0,44	0,47	0,655
	250.470	4,7	4,7	6	0,37	0,395	0,52
Não Compensado	280.250	-	-	13	-	-	0,48
	280.290	-	-	12,5	-	-	0,42
	280.340	9,3	10,7	10,8	0,27	0,326	0,335
	280.400	8	9,5	9,5	0,21	0,263	0,255
	280.470	6,8	8,2	8,4	0,17	0,215	0,215
	280.550	6	7,3	7,3	0,14	0,171	0,176
Compensado	280.340	4	-	4,7	0,35	-	0,395
	280.400	3,5	4,3	4,1	0,28	0,306	0,305
	280.470	3,5	3,9	3,7	0,23	0,265	0,262
	280.550	3	2,8	3,25	0,19	0,213	0,215
	280.640	2,6	2,9	2,77	0,16	0,18	0,178

PACOTE	K2			K3		
	DCF DCD	DCX	DCA	DCF DCD	DCX	DCA
315.400	2,8	2,7	2,6	0,17	0,193	0,19
315.470	2,1	2,1	2,35	0,14	0,156	0,149
315.550	1,9	1,9	1,86	0,12	0,128	0,128
315.640	1,5	1,8	1,71	0,095	0,112	0,109
315.740	1,4	1,6	1,58	0,082	0,093	0,09
355.400	1,9	2,2	2,2	0,107	0,108	0,117
355.470	2,0	2,1	1,8	0,092	0,094	0,096
355.550	1,65	1,6	1,8	0,069	0,077	0,083
355.640	1,62	1,15	1,58	0,060	0,064	0,068
355.740	1,38	1,5	1,48	0,051	0,052	0,055
355.850	1,28	1,3	1,25	0,047	0,047	0,045
400.400	1,3	-	1,6	0,068	-	0,08
400.470	1,35	-	1,5	0,058	-	0,062
400.550	1,3	-	1,1	0,0495	-	0,051
400.640	1,0	-	1,08	0,041	-	0,043
400.740	0,77	-	0,87	0,0305	-	0,036
400.850	0,75	-	0,085	0,0255	-	0,085
400.970	0,65	-	0,65	0,0206	-	0,065
450.400	1,2	-	1,1	0,043	-	0,047
450.470	1,1	-	1,0	0,036	-	0,039
450.550	0,97	-	0,85	0,030	-	0,031
450.640	0,65	-	0,75	0,0235	-	0,027
450.740	0,66	-	0,7	0,190	-	0,023
450.850	0,55	-	0,55	0,0158	-	0,018
450.970	0,51	-	0,5	0,0133	-	0,015
450.1100	0,47	-	0,38	0,117	-	0,013

NOTA: A partir da carcaça 315, todas as máquinas são compensadas.

2.11. RENDIMENTO

O motor elétrico absorve energia elétrica da linha e a transforma em energia mecânica disponível no eixo. O rendimento define a eficiência com que é feita esta transformação. Chamando potência útil (Pu) a potência mecânica disponível no eixo e potência absorvida (Pa) a potência elétrica que o motor retira da rede, o rendimento será relação entre as duas, ou seja:

$$\eta = \frac{Pu(W)}{Pa(W)} = \frac{1000 \, . \, P(kW)}{Ua \, . \, Ia}$$

O rendimento varia com a carga e com a rotação, conforme mostrada na figura 2.11.1.

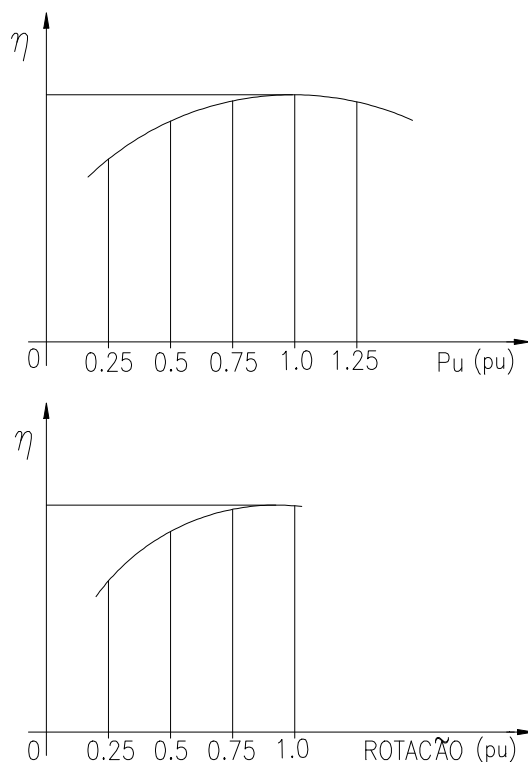



Figura 2.11.1. - Variação do Rendimento em função da Carga e Rotação.

Há dois métodos principais para determinação do rendimento: o direto e o por adição das perdas.

No caso de valores garantidos, a norma permite as seguintes tolerâncias:

a) Pela adição das perdas.

Motores de potências igual ou inferior a 50 kW:
Tolerância = -0,15 (1 - η)

Motores de potência nominal superior a 50 kW:
Tolerância = -0,10 (1 - η)

b) Pelas perdas totais: -0,15 (1 - η).

3. CARACTERÍSTICAS DO AMBIENTE

Entre outros, dois fatores influem na determinação da potência admissível: a temperatura do meio refrigerante e a altitude em que o motor vai ser instalado.

Conforme normas as condições usuais de serviço são:

a) Meio refrigerante (na maioria dos casos o ar ambiente) com temperatura não superior a 40ºC e isento de elementos prejudiciais.
b) **Altitude** não superior a 1000m acima do nível do mar.

Até estes valores de altitude e temperatura ambiente consideram-se condições normais e o motor deve fornecer, sem sobreaquecimento, sua potência nominal.

3.1. ALTITUDE

Motores funcionando em altitudes acima de 1000m apresentam problemas de aquecimento causado pela rarefação do ar e conseqüente diminuição do seu poder de arrefecimento.

A insuficiente troca de calor entre o motor e o ar circundante leva à exigência de redução de perdas, o que significa também , redução de potência.

Tabela 3.1.1 - Potência Permitida em % da Potência do Catálogo - **Tipo DC(N)E.**

Altura Acima do Nível do Mar (m)	Temperatura Ambiente em ºC						
	30	30	40	45	50	55	60
1000	105	100	100	92	85	77	70
1500	102	92	92	85	77	70	63
2000	100	85	85	77	70	63	58

Tabela 3.1.2. - Potência Permitida em % da Potência do Catálogo **- Tipos DC(N)F, DC(N)D, DC(N)S, DC(N)X, DC(N)W.**

Altura Acima do Nível do Mar (m)	Temperatura Ambiente em ºC						
	30	30	40	45	50	55	60
1000	105	100	100	95	90	85	80
1500	102	95	95	90	85	80	77
2000	100	90	90	85	80	77	74

Tabela 3.1.1. - Potência Permitida em % da Potência do Catálogo - **Tipo DC(N)A.**

Altura Acima do Nível do Mar (m)	Temperatura Ambiente em ºC						
	30	30	40	45	50	55	60
1000	105	100	100	93	88	83	77
1500	102	93	93	88	83	77	70
2000	100	88	88	83	77	70	66

3.2. TEMPERATURA AMBIENTE

Motores que trabalham em temperaturas inferiores a -20ºC apresentam os seguintes problemas:

a) Excessiva condensação, exigindo drenagem adicional ou instalação de resistência de aquecimento, caso o motor fique parado por longos períodos.
b) Formação de gelo nos mancais, provocando endurecimento da graxa ou lubrificante nos mancais exigindo o emprego de lubrificantes especiais ou graxas anticongelantes.

Em motores que trabalham a temperaturas ambientes constantemente superiores a 40ºC, o enrolamento pode atingir temperaturas prejudiciais à isolação elétrica.
Este fato tem que ser compensado por um projeto especial do motor, usando materiais isolantes especiais ou pela redução da potência nominal do motor.
Esta redução poderá ser determinada a partir das tabelas 3.1.1, 3.1.2 e 3.1.3.

3.3. ATMOSFERA AMBIENTE

3.3.1. Ambientes Agressivos

Ambientes agressivos, tais como estaleiros, instalações portuárias, indústria de pescado e aplicações navais em geral, indústria química e petroquímica, exigem que os equipamentos que neles trabalham sejam perfeitamente adequados para suportar tais circunstâncias com elevada confiabilidade, sem apresentar problemas de qualquer espécie.

Os motores deverão ter as seguintes características especiais:
- Enrolamento duplamente impregnado;
- Placa identificação de aço inoxidável;
- Elementos de montagem zincados;

- Ventilador de material não faiscante;
- Retentores de vedação entre o eixo e as tampas;
- Massa de calafetar na passagem dos cabos de ligação pela carcaça.

3.3.2. Ambientes Perigosos

O motor CC apresenta a desvantagem de possuir uma fonte de faíscas (comutador), que podem ocasionar a ignição de materiais inflamáveis.

É desaconselhável a utilização de motores em ambiente cuja presença na atmosfera perigosa é constante (Divisão I - IEC/ABNT), utilizando-os apenas onde a presença é ocasional (Divisão II-IEC/ABNT).
Em áreas com material inflamável pertence à classe II ou III da norma NEC descrita a seguir, podemos utilizar motores com ventilação por dutos.

Classificação dos Ambientes

a) Quanto às condições de Trabalho:

Divisão I:
Ambientes enquadrados na divisão I são áreas que contêm permanentemente (ou seja, em condições normais de trabalho) vapores ou gases explosivos ou combustíveis.

Divisão II:
Ambientes enquadrados na divisão II são áreas onde a presença dos agentes possíveis de explosão somente ocorre em situações normais. Nesta divisão não são necessários motores à prova de explosão, podendo ser especificados motores de "segurança aumentada" (Increased Safety), proteção simbolizada por (Ex.)pela IEC.
As principais características destes motores são a inexistência de partes faiscantes e uma sobrelevação admissível de temperatura 10ºC inferior à normalmente especificada para cada classe de temperatura do isolamento.

b) Quanto ao tipo de material - Conforme NEC

Classe I:
Áreas com esta classificação são aquelas onde existe a presença de misturas compostas de gases e/ou vapores inflamáveis. Subdivide-se em 4 grupos A, B, C e D, dependendo do tipo de gás ou vapor, levando em conta a facilidade de inflamação (temperatura) e a pressão em que ocorre explosão.
Como exemplos de materiais típicos dos diversos grupos podemos citar:

Grupo A - Acetinado.
Grupo B - Hidrogênio, butadieno.
Grupo C - Éter etílico, etileno.
Grupo D - Gasolina, nafta, solventes em geral.

Classe II:
Áreas onde existem poeiras inflamáveis e eletrocondutoras. Subdivide-se em três grupos: E,F e G, dependendo do tipo de material e levando-se em conta a facilidade de inflamação.

Classe III:
Áreas onde existem fibras e partículas flutuantes inflamáveis. Os requisitos do motor para ambientes classificados nas classes II e III dizem respeito, principalmente às temperaturas atingidas na superfície externa e devem levar em conta o acúmulo das poeiras ou fibras sobre o motor que impede a dissipação do calor levando à queima do motor ou à ignição do material inflamável.

3.4. GRAUS DE PROTEÇÃO

Os invólucros dos equipamentos elétricos, conforme as características do local em que serão instalados e de sua acessibilidade, devem oferecer um determinado grau de proteção. Assim, por exemplo, um equipamento a ser instalado num local sujeito a jatos d'água deve possuir um invólucro capaz de suportar tais jatos, sob determinados valores de pressão e ângulo de incidência, sem que exista penetração de água.

Código de identificação

A norma NBR-6146 define os graus de proteção dos equipamentos elétricos por meio das letras características IP, seguidas por dois algarismos.

Tabela 3.4.1. - 1º ALGARISMO: indica o grau de proteção contra penetração de corpos sólidos estranhos e contato acidental.

1º ALGARISMO	
0	Sem proteção
1	Corpos estranhos de dimensões acima de 50mm
2	Corpos estranhos de dimensões acima de 12mm
3	Corpos estranhos de dimensões acima de 2,5mm
4	Corpos estranhos de dimensões acima de 1,0mm
5	Proteção contra acúmulo de poeiras prejudiciais ao motor
6	Totalmente protegido contra poeira

Tabela 3.4.2. - 2º ALGARISMO: Indica o grau de proteção contra penetração de água no interior do motor.

2º ALGARISMO	
0	Sem proteção
1	Pingos de água na vertical
2	Pingos de água até a inclinação de 15 com a vertical
3	Água de chuva até a inclinação de 60 com a vertical
4	Respingos de todas as direções
5	Jatos de água de todas as direções
6	Água de vagalhões
7	Imersão temporária
8	Imersão permanente

As combinações entre os dois algarismos, isto é, entre os dois critérios de proteção, estão resumidos na tabela 3.4.3.

Tabela 3.4.3. - Graus de Proteção.

Motor	**Classe de Proteção**	**1º algarismo**		**2º algarismo**
		Proteção contra contato	**Proteção contra corpos estranhos**	**Proteção contra água**
ABERTOS	IP00	não tem	não tem	não tem
	IP02			pingos de água até uma inclinação de 15 com a vertical
	IP11	toque acidental com a mão	Corpos estranhos sólidos de dimensões acima de 50mm	pingos de água na vertical
	IP12			pingos de água até uma inclinação de 15 com a vertical
	IP13			água de chuva até uma inclinação de 60 com a vertical
	IP21	toque com os dedos	Corpos estranhos sólidos acima de 12mm	pingos de água na vertical
	IP22			pingos de água até uma inclinação de 15 com a vertical
	IP23			água de chuva até uma inclinação de 60 com a vertical
FECHADOS	IP44	toque com ferramentas	Corpos estranhos sólidos de dimensões acima de 1mm	respingos de todas as direções
	IP54	proteção completa contra toque	proteção contra acúmulo de poeiras nocivas	respingos de todas as direções
	IP55			jatos de água de todas as direções
	IPW55	proteção completa contra toques	proteção contra acúmulo de poeiras nocivas	chuva maresia

Existem ainda letras adicionais que complementam a proteção, e são as seguintes:

R - máquina cuja ventilação é por dutos;
W - proteção contra intempéries;
S - para máquinas cuja proteção contra água é ensaiada parada;
M - máquina cuja proteção contra água é ensaiada em movimento.
Ex.: IPR 44
IPW 54
IP 23S

Tipos Usuais de Proteção

Embora os algarismos indicativos de grau de proteção possam ser combinados de muitas maneiras, somente alguns tipos de proteção são empregados nos casos normais. São eles: IP21, IP22, IP23 e IP44.
Os três primeiros são motores abertos e último é motor totalmente fechado. Para aplicações especiais mais rigorosas, são comuns também os graus de proteção IP54 (ambientes muito empoeirados) e IP55 (casos em que os equipamentos são lavados periodicamente com mangueiras, como em fábricas de papel).

Assim, por exemplo, um motor IP44 substitui com vantagem os IP12, IP22 e IP23, apresentando maior segurança contra exposição acidental a poeiras e água. Isto permite padronização da produção em um único tipo que atenda a todos os casos, com vantagem adicional para o comprador nos casos de ambientes menos exigentes.

3.5. RESISTÊNCIA DE AQUECIMENTO

As resistências de aquecimento são utilizadas em motores instalados em ambientes muito úmidos e que ficam parados por longo espaço de tempo. Aquecendo os enrolamentos do motor alguns graus acima da temperatura ambiente (5 a 10ºC), as resistências impedem a condensação de água no seu interior.

A instalação é opcional, solicitada pelo cliente ou recomendada pela WEG quando ficar evidenciada a aplicação em ambientes desfavoráveis.

As resistências de aquecimento poderão funcionar em redes de alimentação de 110V, 220 e 440V, dependendo da tensão da resistência e da ligação das mesmas.

A tensão de alimentação das resistências deverá ser especificada pelo cliente.
Dependendo da carcaça, serão empregados os resistores de aquecimento da tabela 3.2.1.

Tabela 3.2.1. - Resistência de Aquecimento.

Carcaça	Potência (W)
90 a 132	50
160 a 250	150
280 e 315	216
355 e 400	450
450	600

Nos motores CC tipo DNE até a carcaça 132, em vez da resistência de aquecimento poderá ser utilizado o próprio enrolamento de campo, que é mantido permanentemente ligado.

4. CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO

4.1. POTÊNCIA NOMINAL

É a potência que o motor pode fornecer dentro de suas características nominais, em regime contínuo.
O conceito de potência nominal, ou seja, a potência que o motor pode fornecer, está intimamente ligado a elevação de temperatura do enrolamento. Sabemos que o motor pode acionar cargas de potências bem acima de sua potência nominal. O que acontece, porém, é que, se esta sobrecarga for excessiva, isto é, for exigida do motor uma potência muito acima daquela para qual foi projetado, o aquecimento normal será ultrapassado e a vida do motor será diminuída, podendo ele, até mesmo, queimar-se rapidamente.

4.2. ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA - CLASSE DE ISOLAMENTO

4.2.1. Aquecimento do Enrolamento

A potência útil fornecida pelo motor na ponta do eixo é menor que a potência que o motor absorve da linha de alimentação, isto é, o rendimento do motor é sempre inferior a 100%.
A diferença entre as duas potências representa as perdas que são transformadas em calor, o qual aquece o enrolamento e deve ser dissipado para fora do motor, para evitar que a elevação de temperatura seja excessiva.

4.2.2. Vida Útil de uma Máquina de Corrente Contínua

Se não considerarmos as peças que se desgastam devido ao uso, como escovas e rolamentos, a vida útil de uma máquina CC é determinada pelo material isolante.
Este é afetado por muitos fatores, como unidade, vibrações, ambientes corrosivos e outros.
Dentre todos os fatores, o mais importante é, sem dúvida, a temperatura de trabalho dos materiais isolantes.
Das curvas de variação das características dos materiais em dependência da temperatura determina-se a sua vida útil, que é reduzida pela metade a cada 8°C de operação acima da temperatura nominal da classe.
Quando falamos em diminuição da vida útil do motor não nos referimos apenas às temperaturas elevadas, quando o isolante se queima e o enrolamento é destruído de repente. Vida útil da isolação em termos de temperatura de trabalho, bem abaixo daquela em que o material se queima, refere-se ao envelhecimento gradual do isolante, que vai se tornando ressecado perdendo o poder isolante, até que não suporte mais a tensão aplicada e produza o curto-circuito.

4.2.3. Classes de Isolamento

Como foi visto acima, o limite de temperatura depende do tipo de material empregado. Para fins de normalização, os materiais isolantes e os sistemas de isolamento (cada um formado pela combinação de vários materiais) são agrupados em CLASSES DE ISOLAMENTO, cada qual definida pelo respectivo limite de temperatura, ou seja, pela maior temperatura que o material pode suportar continuamente sem que seja afetada sua vida útil normal.

As classes de isolamento utilizadas em máquinas elétricas e os respectivos limites de temperatura conforme NBR 5116, são os seguintes:
Classe A (105°C)
Classe E (120°C)
Classe B (130°C)
Classe F (155°C)
Classe H (180°C)

É muito difícil medir a temperatura do enrolamento com termômetros ou termopares, pois a temperatura varia de um ponta a outro e nunca se sabe se o ponto da medição está próximo do ponto mais quente.
O método mais preciso e mais confiável de se medir a temperatura de um rolamento é através da variação de sua resistência Ôhmica com a temperatura, que aproveita a propriedade dos condutores de variar sua resistência segundo uma lei conhecida.
A elevação de temperatura pelo método da resistência é calculada por meio da seguinte fórmula, para condutores de cobre:

$$\Delta t = t2 - ta = \frac{R2 - R1}{R1}(235 + t1) + t1 - ta$$

Onde:
Δt - é a elevação de temperatura.
t1 - temperatura do enrolamento antes do ensaio, praticamente igual a do meio refrigerante, medida por termômetro.
t2 - temperatura dos enrolamentos no fim do ensaio.

ta - temperatura do meio refrigerante no fim do ensaio.
R1 - resistência fria antes do ensaio.
R2 - resistência quente depois do ensaio.

A temperatura do ponto mais quente do enrolamento deve ser mantida abaixo do limite da classe. A temperatura total vale a soma da temperatura ambiente já com a elevação de temperatura Δt mais a diferença que existe entre a temperatura média do enrolamento e a do ponto mais quente.
As normas de motores fixam a máxima elevação de temperatura Δt, de modo que a temperatura do ponto mais quente fica limitada, com base nas seguintes considerações:

a) A temperatura ambiente é, no máximo 40ºC, por norma, e acima disso as condições de trabalho são consideradas especiais.
b) A diferença entre a temperatura média e a do ponto mais quente não varia muito de motor para motor e seu valor estabelecido em norma, baseado na prática é 5ºC, para as classes A e E, 10ºC para a classe B e 15ºC para as classes F e H.

As normas de motores, portanto, estabelecem um máximo para a temperatura ambiente e especificam uma elevação de temperatura máxima para cada classe de isolamento.
Deste modo, fica indiretamente limitada a temperatura do ponto mais quente.
Os valores numéricos e a composição da temperatura admissível do ponto mais quente são indicados na tabela abaixo:

Tabela 4.2.1. - Temperatura do ponto mais quente.

CLASSE DE ISOLAMENTO	A	E	B	F	H
Temperatura ambiente	40	40	40	40	40
Δt = Elevação de Temperatura (método de resistência)	60	75	80	105	125
Diferença entre o ponto mais quente e a temperatura média	5	5	10	10	15
Total: Temperatura do ponto mais quente	105	120	130	155	180

4.3. PROTEÇÃO TÉRMICA

É efetuada por meio de protetores térmicos tipo termostatos, termistores ou detectores de temperatura tipo resistência calibrada, dependendo do tipo de motor e da exigência do cliente. Eles são instalados em contato com as bobinas ou mesmo no interior delas.

Tipos de Protetores Utilizados pela WEG

Termistores

São detetores térmicos compostos de sensores semicondutores que variam sua resistência bruscamente ao atingirem uma determinada temperatura.
NTC - Coeficiente de temperatura negativa
PTC - Coeficiente de temperatura positiva
O tipo PTC é um termistor cuja resistência aumenta bruscamente para um valor bem definido de temperatura, especificado para cada tipo. Esta variação brusca na resistência interrompe a corrente no PTC, acionando um relé de saída, o qual desliga o circuito principal. Também pode ser utilizado para sistemas de alarme ou alarme e desligamento (2 por fase).
Para o termistor NTC acontece o contrário do PTC, porém, sua aplicação não é normal em motores elétricos, pois os circuitos eletrônicos de controle disponíveis, geralmente são para o PTC.
Os termistores tem tamanho reduzido, não sofrem desgastes mecânicos e apresentam uma resposta mais rápida em relação aos outros detetores.
São aplicados em motores CC quando solicitado pelo cliente.

Termostatos

São detetores térmicos do tipo bimetálico com contatos de prata normalmente fechados, que se abrem quando ocorre determinada elevação de temperatura. Quando a temperatura de atuação do bimetálico baixar, este volta a sua forma original instantaneamente, permitindo o fechamento dos contatos novamente.
Os termostatos podem ser destinados para sistemas de alarme, desligamento ou ambos, quando solicitado pelo cliente. São ligados em série com a bobina do contator. Para operar em alarme e desligamento (2 por fase), os termostatos de alarme devem ser apropriados para atuação na elevação de temperatura prevista do motor, enquanto que os termostatos de desligamento deverão atuar na temperatura máxima do material isolante.

Resistências Calibradas Tipo RTD (Resistence Temperature Detectors)

São elementos onde sua operação é baseada na característica de variação da resistência com a temperatura, intrínseca a alguns materiais (geralmente platina, níquel ou cobre). Possuem resistência calibrada, que varia linearmente com a temperatura, possibilitando um acompanhamento contínuo do processo de aquecimento do motor pelo display do controlador, com alto grau de precisão e sensibilidade de resposta. Sua aplicação é ampla nos diversos setores de técnicas de medição e automatização de temperatura nas indústrias em geral. Geralmente, aplica-se em instalações de grande responsabilidade como, por exemplo, em regime contínuo muito irregular. Um mesmo detetor pode servir para alarme e desligamento.
Desvantagem: Os elementos sensores e os circuitos de controle possuem um alto custo.

4.4. REDUÇÃO DE POTÊNCIA PARA ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA DA CLASSE B

Em muitos casos é exigida uma elevação de temperatura inferior ao da classe, como por exemplo classe F com elevação B.

O motor poderá ser escolhido pelo catálogo, com a seguinte redução da potência nele especificada, que é referente à classe F:

DC(N)F, DC(N)D, DC(N)S, DC(N)X, DC(N)W, DC(N)A	20%
DC(N)E	30%

4.5. REGIME DE SERVIÇO

É o grau de regularidade da carga a que o motor é submetido. Os motores normais são projetados para regime contínuo, em que a carga é constante por tempo indefinido e igual à potência nominal do motor.

A indicação do regime do motor deve ser feita pelo comprador da forma mais exata possível. Nos casos em que a carga não varia ou nos quais varia de forma previsível, o regime poderá ser indicado numericamente ou por meio de gráficos que representam a variação em função dos tempos das grandezas variáveis. Quando a seqüência real dos valores no tempo for indeterminada, deverá ser indicada uma seqüência fictícia não menos que a real.

4.5.1. Regimes Padronizados

Os regimes tipo e os símbolos alfanuméricos a eles atribuídos são os indicados a seguir:

Regime Contínuo (S1)

Funcionamento a carga constante de duração suficiente para que se alcance o equilíbrio térmico.
t_N = Funcionamento em carga constante.
$\theta_{máx}$ = Temperatura máxima atingida.

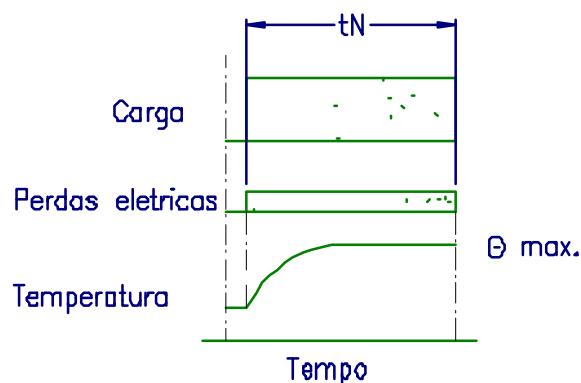



Figura 4.5.1. - Regime S1.

Regime de Tempo Limitado (S2)

Funcionamento a carga constante, durante um certo tempo, inferior ao necessário para atingir o equilíbrio térmico, seguido de um período de repouso de duração suficiente para restabelecer a igualdade de temperatura com o meio refrigerante.

t_N = funcionamento em carga constante
$\theta_{máx}$ = temperatura máxima atingida durante o ciclo.

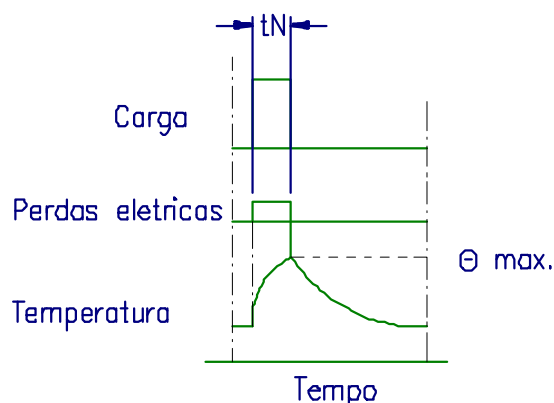



Figura 4.5.2 - Regime S2.

Regime Intermitente Periódico (S3)

Seqüência de ciclos idênticos, cada qual incluindo um período de funcionamento a carga constante e um período de repouso. Neste regime o tempo entre uma partida e outra deve ser suficientemente grande para que o calor gerado na partida não afete o ciclo seguinte.

t_N = funcionamento em carga constante.
t_R = repouso.
$\theta_{máx}$ = temperatura máxima atingida durante o ciclo.

$$\text{Fator de duração do ciclo} = \frac{t_N}{t_N + t_R} \cdot 100\%$$

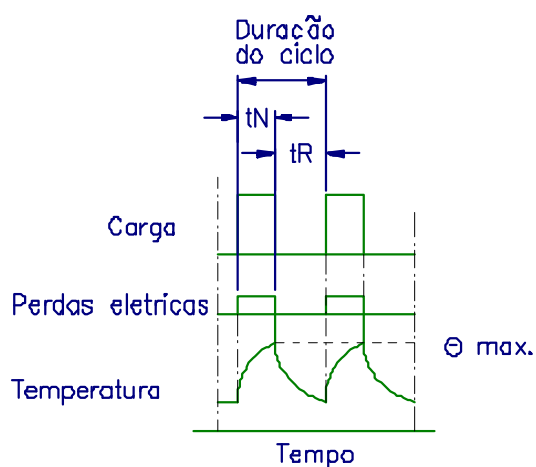



Figura 4.5.3. - Regime S3.

Regime Intermitente Periódico com Partidas (S4)

Seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual consistindo de um período de partida, um período de funcionamento a carga constante e um período de repouso. Neste regime o calor gerado na partida é suficientemente grande para afetar o ciclo seguinte.

t_D = partida.
t_N = funcionamento em carga constante.
t_R = repouso.
$\theta_{máx}$ = temperatura máxima atingida durante o ciclo.

$$\text{Fator de duração do ciclo} = \frac{t_D + t_N}{t_D + t_N + t_R} \cdot 100\%$$

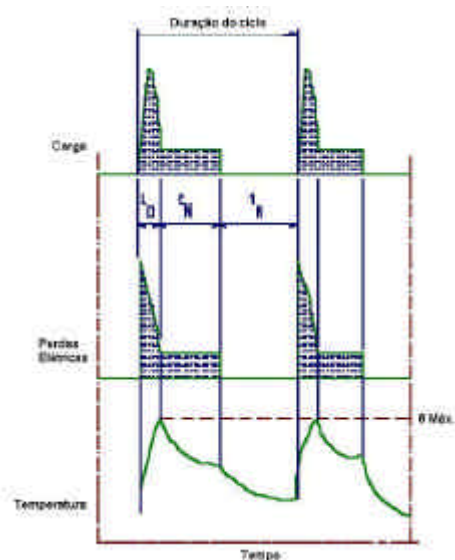



Figura 4.5.4. - Regime S4.

Regime Intermitente Periódico com Frenagem Elétricas (S5)

Seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual consistindo de um período de partida, um período de funcionamento a carga constante, um período de frenagem elétrica e um período de repouso.

t_D = partida.
t_N = funcionamento em carga constante.
t_F = frenagem elétrica.
t_R = repouso.
$\theta_{máx}$ = temperatura máxima atingida durante o ciclo.

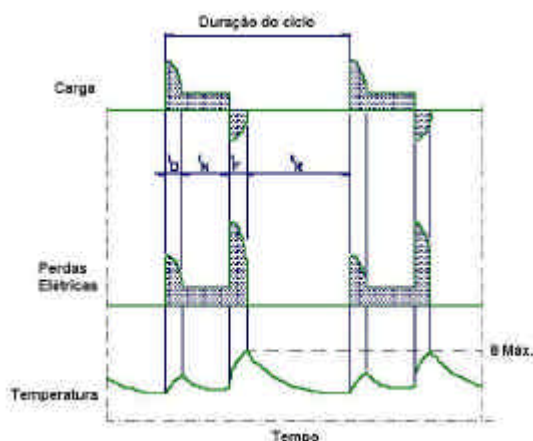



Figura 4.5.5. - Regime S5.

Regime de Funcionamento Contínuo com Carga Intermitente (S6)

Seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual consistindo de um período de funcionamento a carga constante e de um período de funcionamento em vazio, não existindo o período de repouso.

t_N = funcionamento em carga constante.
t_V = funcionamento em vazio.
$\theta_{máx}$ = temperatura máxima durante o ciclo.

$$\text{Fator de duração do ciclo} = \frac{t_N}{t_N + t_V} \cdot 100\%$$

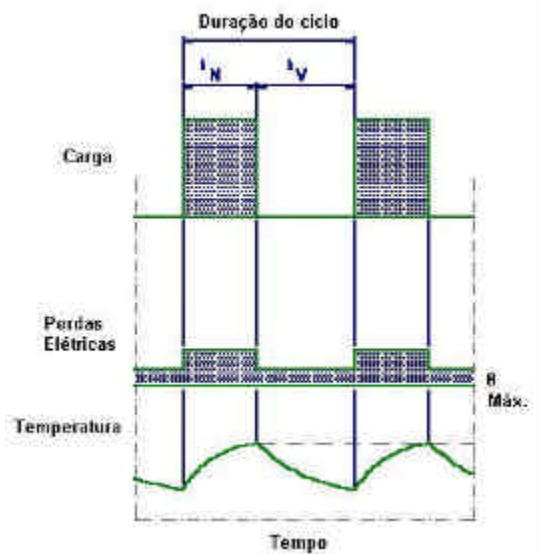



Figura 4.5.6. - Regime S6.

Regime de Funcionamento Contínuo com Frenagem Elétrica (S7)

Seqüência de ciclos de regime idênticos, cada qual consistindo de um período de partida, de período de funcionamento a carga constante e um período de frenagem elétrica, não existindo o período de repouso

t_D = partida.
t_N = funcionamento em carga constante.
t_F = frenagem elétrica.
$\theta_{máx}$ = temperatura máxima atingida durante o ciclo.

Fator de duração do ciclo = 1

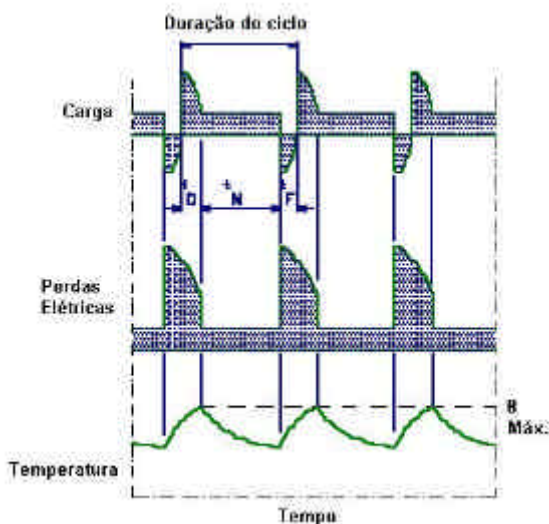



Figura 4.5.7. - Regime S7.

Regime de Funcionamento Contínuo com Mudança Periódica na Relação Carga / Velocidade de Rotação (S8)

Seqüência de ciclos de regime idênticos, cada ciclo consistindo de um período de partida e um período de funcionamento a carga constante, correspondente a uma velocidade de rotação pré-determinada, seguidos de um ou mais períodos de funcionamento a outras cargas constantes, correspondentes a diferentes velocidades de rotação. Não existe o período de repouso .

t_{F1} - t_{F2} = frenagem elétrica.
t_D = partida.
t_{N1} - t_{N2} - t_{N3} = funcionamento em carga constante.
$\theta_{máx}$ = temperatura máxima atingida durante o ciclo.

Fator de duração do ciclo:

$$\text{a)} \quad \frac{t_D + t_{N1}}{t_D + t_{N1} + t_{F1} + t_{N2} + t_{F2} + t_{N3}} \cdot 100\%$$

$$\text{b)} \quad \frac{t_{F1} + t_{N2}}{t_D + t_{N1} + t_{F1} + t_{N2} + t_{F2} + t_{N3}} \cdot 100\%$$

$$\text{c)} \quad \frac{t_{F2} + t_{N3}}{t_D + t_{N1} + t_{F1} + t_{N2} + t_{F2} + t_{N3}} \cdot 100\%$$

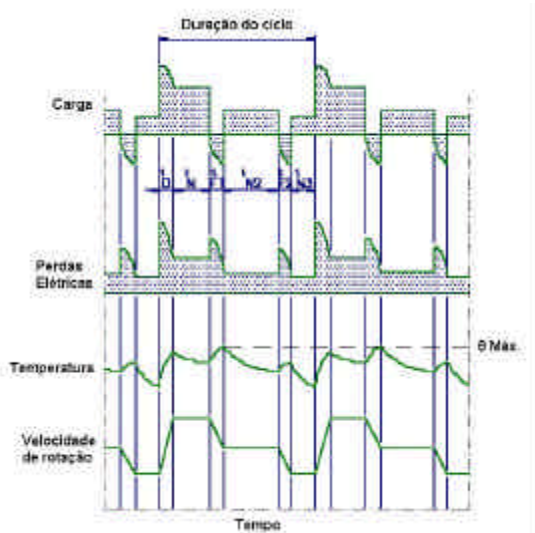



Figura 4.5.8. - Regime S8.

Regimes Especiais

Quando a carga pode variar durante os períodos de funcionamento, a escolha do motor adequado deve ser feita mediante consulta à fábrica e depende de uma descrição completa do ciclo:

- Potência necessária para acionar a carga ou um gráfico de potência requerida durante um ciclo, se ela varia;
- Conjugado resistente da carga;
- Momento de inércia total (GD2 ou J) da máquina acionada, referida à sua rotação.

4.5.2. Designação do Regime Tipo

O regime tipo é designado pelo símbolo descrito no item 4.5.1. No caso de regime contínuo, este pode ser indicado, em alternativa pela palavra "Contínuo".

A designação dos regimes S2 a S8 é seguida das seguintes indicações:

a) S2, do tempo de funcionamento em carga constante;
b) S3 a S6, do fator de duração do ciclo;
c) S8, de cada uma das velocidades nominais que constituem o ciclo, seguida da respectiva potência nominal e do seu respectivo tempo de duração.

No caso dos regimes S4, S5, S7 e S8, outras indicações a serem acrescidas à designação deverão ser estipuladas mediante acordo entre fabricante e comprador.

4.5.3. Fator de Redução de Potência

Para os regimes S2 e S3 pode ser estimada a potência equivalente em regime S1, indicada no catálogo.
Nas tabelas a seguir podem ser obtidos os valores mais usuais para as diferentes ventilações. Nas figuras 4.5.9 e 4.5.10 obtêm-se valores intermediários.

Tipo DC(N)E

REGIME	POTÊNCIA PERMITIDA
S2 - 30 min	180% da potência do catálogo
S2 - 60 min	150% da potência do catálogo
S3 - 40% ED	150% da potência do catálogo
S3 - 60% ED	125% da potência do catálogo

Tipos DC(N)F, DC(N)D, DC(N)S, DC(N)X, DC(N)A

REGIME	POTÊNCIA PERMITIDA
S2 - 30 min	107% da potência do catálogo
S2 - 60 min	100% da potência do catálogo
S3 - 40% ED	120% da potência do catálogo
S3 - 60% ED	110% da potência do catálogo

Para o regime S3 a duração máxima de um ciclo deve ser de 10 min.

Potência Equivalente para Regime S1:

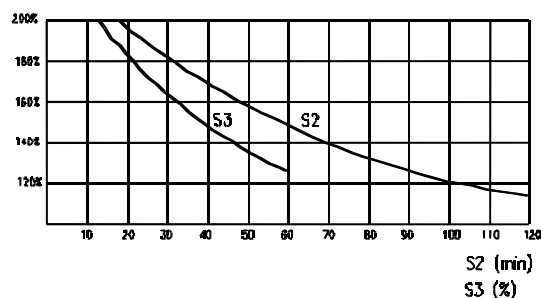



Figura 4.5.9. - Fator de redução da potência Tipo DC(N)E.

Potência Equivalente para Regime S1:

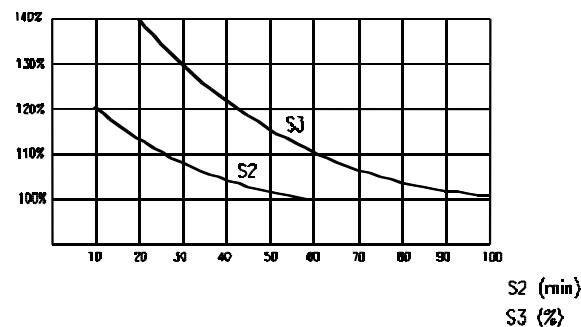



Figura 4.5.10 - Fator de redução da potência Tipos DC(N)F, DC(N)D, DC(N)S, DC(N)X, DC(N)A.

4.5.4. Potência Equivalente

Apesar das inúmeras formas normalizadas de descrição das condições de funcionamento de um motor, freqüentemente é necessário, na prática, avaliar a solicitação imposta ao motor por um regime mais complexo do que aqueles descritos nas normas. Uma forma usual é calcular a potência equivalente, pela fórmula:

$$Pm^2 = \frac{1}{T}\int_0 k \quad P^2 \, . \, dt$$

Onde:
Pm= Potência de saída do motor
P = Potência variável com o tempo
T = Duração total do ciclo

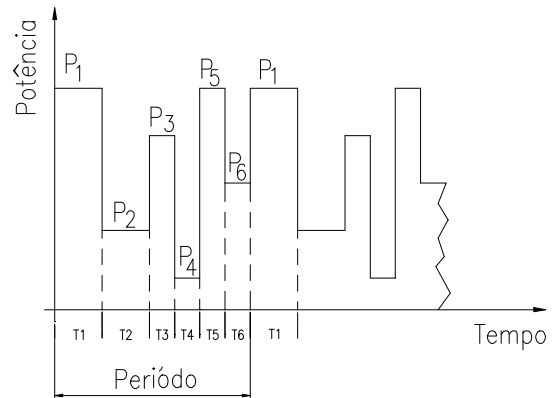
O método fundamenta-se na hipótese de que a carga efetivamente aplicada ao motor acarretará a mesma solicitação térmica que uma carga fictícia, equivalente, que solicita continuamente a potência Pm . Baseia-se também no fato de ser assumida uma variação das perdas com o quadrado da carga, e que a elevação de temperatura é diretamente proporcional às perdas.
Isto é verdadeiro para motores que giram continuamente, mas são solicitados de forma intermitente.
Se o motor fica em repouso entre os tempos de carga deverá ser verificado o tipo de ventilação, pois a refrigeração poderá ser menor do que quando o motor opera.
Nestes casos a fórmula acima pode ser substituída por:

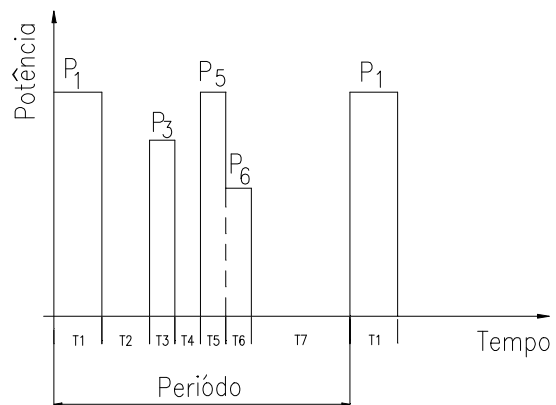
$$Pm^2 = \frac{\sum Pi^2 \, . \, ti}{\sum ti + \frac{1}{3}\sum tr}$$

Onde:
ti - tempos em carga.
tr - tempos em repouso.
Pi - cargas correspondentes.

Para os seguintes tipos de ventilação deve ser considerada a relação acima:
- DC(N)S.
- DC(N)F, DC(N)D, DC(N)X, DC(N)A caso os ventiladores forem desligados.

a) Funcionamento contínuo com solicitações intermitentes, ou com repouso, mas para os tipos DC(N)E, DC(N)F, DC(N)D, DC(N)X, DC(N)A sem o desligamento do ventilador.

$$Pm = \sqrt{\frac{P1^2.t1+P2^2.t2+P3^2.t3+P4^2.t4+P5^2.t5+P6^2.t6}{t1+t2+t3+t4+t5+t6}}$$

b) Funcionamento com carga variável e com repouso entre os tempos de carga.

$$Pm = \sqrt{\frac{P1^2.t1+P3^2.t3+P5^2.t5+P6^2.t6}{t1+t3+t5+t6+\frac{1}{3}(t2+t4+t7)}}$$

5. CARACTERÍSTICAS DA CARGA ACIONADA

5.1. POTÊNCIA NOMINAL DO MOTOR

Quando se deseja escolher um motor para acionar uma determinada carga, é preciso conhecer o conjugado requerido pela carga e a rotação que essa carga deve ter em condições nominais. Conhecendo-se também o tipo de acoplamento é possível saber qual é a rotação nominal do motor.

Portanto a potência nominal do motor é dada por:

$$P_n = 2\pi n C_n$$

Onde:
P_n = Potência nominal do motor em (watt).
C_n = Conjugado nominal do motor em (mN).
n = Rotação nominal do motor em (rps) (rpm/60).

Na equação acima considerou-se que o conjugado requerido pela carga é igual ao conjugado nominal do motor. Essa consideração só é verdadeira para acoplamento direto. Quando o acoplamento for com redução de velocidade, o conjugado requerido pela carga deve ser referido ao eixo do motor, da seguinte maneira:

$$Cn = \frac{nc}{\eta ac.n} . Ccn$$

Onde:
nc = Rotação da carga em (rps).
Ccn = Conjugado nominal da carga em (mN).
ηac = Rendimento do acoplamento.

O rendimento do acoplamento é definido por:

$$\eta ac = \frac{Pc}{Pn}$$

Onde:
Pc = Potência transmitida à carga em (watt).

Na tabela 5.1.1 a seguir pode ser observado o rendimento para alguns tipos de acoplamentos:

Tabela 5.1.1. - Rendimentos de acoplamentos.

Tipo de Acoplamento	Faixa de Rendimento (%)
Direto	100
Embreagem Eletromagnética	87 - 98
Polia Com Correia Plana	95 - 98
Polia Com Correia V	97 - 99
Engrenagem	96 - 99
Roda Dentada (Correia)	97 - 98
Cardã	25 - 100
Acoplamento Hidráulico	100

OBSERVAÇÃO:
Potência normalmente é expressa em kW que é um múltiplo do Watt.

Portanto: 1 kW = 1000 W.

Uma outra unidade de potência muito usada na prática é o Cavalo Vapor (CV). A relação entre CV e kW é mostrada abaixo:

1 CV = 0,736 kW.

5.2. ROTAÇÃO NOMINAL

É a rotação obtida em carga nominal, sob tensão nominal na armadura e campo, na temperatura de funcionamento.
A variação da rotação permitida por norma NBR está contida na tabela abaixo.

Tabela 5.2.1. - Tolerâncias de Rotações.

Excitação	$\frac{kW}{rpm}$. 1000	Tolerância
Independente ou em Derivação	0,67	± 15%
	0,67 2,5	± 10%
	2,5 10	± 7,5%
	10	± 5%
Série	0,67	± 20%
	0,67 2,5	± 15%
	2,5 10	± 10%
	10	± 7.5%
Excitação Composta	Tolerâncias compreendidas entre as fixadas para os motores com excitação independente e as fixadas para motores com excitação série, conforme acordo entre fabricante e comprador.	

5.3. PARTIDA E FRENAGEM DA MÁQUINA CC

O fator limitante da corrente de armadura na partida é a resistência de armadura, porque naquele instante a f.e.m. induzida é nula.

$$Ia0 = \frac{UA - f.e.m.}{Ra}$$

f.e.m. = 0

$$Ia0 = \frac{UA}{Ra}$$

Motores pequenos até 1kw poderão partir com tensão plena, e acima deste valor deverão possuir algum sistema de limitação da corrente, pois esta pode danificar o comutador.
Para arranque do estado de repouso das máquinas com proteção IP23S ou IPR44 se permite, até a velocidade de 30% da nominal, que a corrente seja 2 a 3 vezes a corrente nominal durante 5 segundos, sempre que a corrente nominal for válida para o regime de serviço S1. Para máquinas com proteção IP44 ou IP55 se permite, até a velocidade de 30% da nominal, que a corrente seja 3 a 5 vezes a corrente nominal durante 5 segundos, sempre que a corrente nominal for válida para o regime de serviço S1.
Para acelerar a máquina até a velocidade nominal, a corrente permitida é 1,5 vezes a corrente nominal até aproximadamente 30 segundos, para os tipos de proteção IP23S e IPR44, ou 3 vezes a corrente nominal até 1 minuto para os tipos de proteção IP44 e IP55. Isto supondo que a corrente nominal seja válida para o regime de serviço S1.

A frenagem elétrica pode ser:

a) Frenagem por Contra-corrente

Este tipo de frenagem realiza-se de dois modos:
1. Quando a carga obriga o motor a girar em sentido contrário ao normal;
2. Invertendo o sentido de rotação do motor por inversão do sentido da corrente no induzido.

b) Frenagem Reostática

Durante a frenagem reostática, o induzido do motor é desligado da rede e conectado a uma resistência de carga, onde a máquina funciona como gerador, utilizando a energia cinética armazenada pelo grupo.

c) Frenagem Regenerativa ou com Recuperação de Energia

Quando a máquina está inicialmente funcionando como motor e passa a ser acionada pela carga a uma velocidade superior à do funcionamento em vazio. Neste caso a f.e.m. torna-se maior que a tensão da rede e, por isso, a corrente de armadura muda de sentido; em conseqüência, muda de sentido o binário desenvolvido pela máquina, isto é, a máquina funciona como gerador, em paralelo com a rede.
Os valores de corrente de armadura permitidos durante o período de frenagem devem ser solicitados à fábrica.

5.4. CARGA COM BLOQUEIO NA ARMADURA

Devido ao aquecimento não uniforme no comutador, quando parado, o que pode ocasionar uma ovalização, é recomendado um tempo máximo em função da carga, mostrado na tabela abaixo.

Tabela 5.4.1. - Tempos máximos admissíveis com bloqueio da armadura em máquinas CC.

Motor	Corrente de Armadura (%)	
DC(N)F DC(N)D DC(N)S DC(N)X DC(N)A	200	10 s
	100	30 s
	50	1,5 min
	20	10 min
	15	permanente
DC(N)E	200	30 s
	100	1,5 min
	50	10 min
	20	permanente

5.5. SENTIDO DE ROTAÇÃO

As máquinas podem funcionar em ambos os sentidos de rotação, horário e anti-horário, sem prejuízo da ventilação, conjugado ou potência.
Para inverter o sentido de rotação do motor, deve-se inverter a polaridade da ligação da armadura ou do campo.
A inversão de ambos não trará resultado.
Normalmente considera-se o sentido horário, visto pelo lado acionado.

5.6. INÉRCIA DA CARGA

O momento de inércia da carga acionada é uma das características fundamentais para verificar, através do tempo de aceleração, se o motor consegue acionar a carga dentro das condições exigidas pelo ambiente ou pela estabilidade térmica do material isolante.
Momento de inércia é uma medida da resistência que um corpo oferece a uma mudança em seu movimento de rotação em torno de um dado eixo. Depende do eixo em torno do qual ele está girando, da forma do corpo e da maneira como sua massa está distribuída. A unidade do momento da inércia é kgm².
O momento de inércia de uma máquina que tem rotação diferente da do motor (por exemplo, nos casos de acionamento por polias ou engrenagens), deverá ser referido à rotação nominal do motor conforme expressão:

$$Jce = Jc\left(\frac{nc}{nN}\right)^2 \qquad (kgm^2)$$

Onde:
Jce - Momento de inércia da carga.
referido ao eixo do motor.
Jc - Momento de inércia da carga.
nc - Rotação da carga.
nN - Rotação nominal do motor.

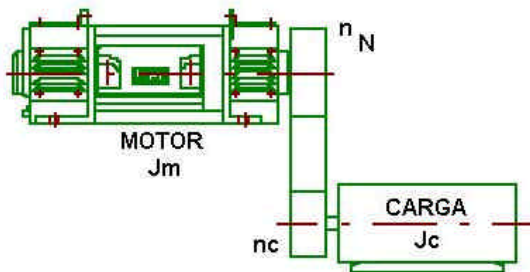



Figura 5.6.1. - Momento de inércia em rotações diferentes.

Exemplo:

Na Figura 5.6.2 a inércia da carga referida ao eixo do motor será:

$$Jce = Jc\left(\frac{nc}{nN}\right)^2 + J1\left(\frac{n1}{nN}\right)^2 + J2\left(\frac{n2}{nN}\right)^2 + J3\left(\frac{n3}{nN}\right)^2$$

A inércia total será a soma do momento de inércia do equipamento com a inércia do próprio motor:

$$Jc = Jm + Jce$$

A inércia total de uma carga é um importante fator para a determinação do tempo de aceleração.

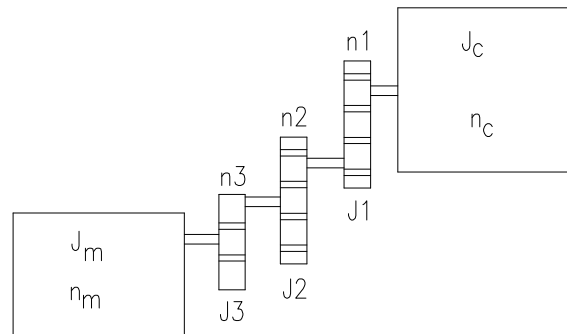



Figura 5.6.2. - Momento de inércia em rotações diferentes.

5.7. TEMPO DE ACELERAÇÃO E FRENAGEM

O tempo de aceleração pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$ta = \frac{GD^2 \,.\, \text{Än}}{375 \,.\, Ca\,(m\,kgf)} = \frac{GD^2 \,.\, \text{Än}}{38{,}2 \,.\, Ca\,(m\,N)}$$

Onde:
ta = tempo de aceleração ou frenagem
n = variação de rotação (rpm)
GD² = momento de inércia total em kgf m^2
(GD^2 = 4 Jt)
Ca = conjugado de aceleração ou frenagem
Ca = Cm - Cr → aceleração
Ca = Cm + Cr → frenagem
Cm = Conjugado Motor
Cr = Conjugado Resistente

Quando se está trabalhando na faixa do controle da armadura e o conjugado resistente é constante em toda a aceleração, torna-se fácil o cálculo, bastando substituir os valores nas fórmulas.
No caso de se trabalhar também na faixa de controle pelo campo, e/ou conjugado resistente variável com a rotação, deverão ser calculados tempos parciais para intervalos pequenos de rotação e a somatória fornecerá o tempo total de aceleração.

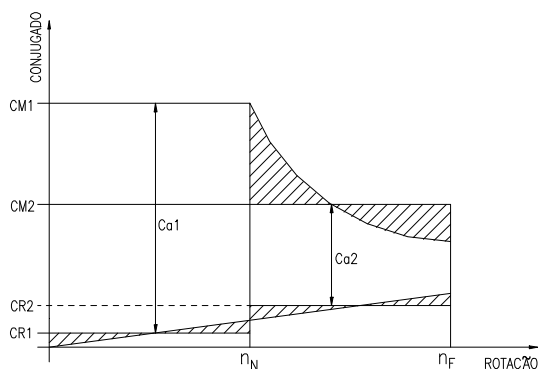



Figura 5.7.1. - Conjugado de aceleração ou frenagem.

Graficamente poderá ser obtido um valor médio para o conjugado de aceleração na faixa pelo campo e pela armadura.
Para o caso de frenagem deverá ser adicionado ao conjugado médio do motor o conjugado médio resistente.
Em acionamentos controlados, o conjugado do motor é limitado pela corrente que foi ajustada. Isto significa que o motor pode ser usado até o limite estabelecido.

5.8. SOBRECARGAS MOMENTÂNEAS DURANTE O SERVIÇO

Na velocidade nominal os motores podem receber uma carga de 1,6 vezes o conjugado nominal por um período de, no máximo, 15 segundos em máquinas abertas e 30 segundos para máquinas fechadas.
A corrente da armadura é de aproximadamente 1,8 vezes o valor da corrente nominal em motores sem enrolamento auxiliar em série e 1,6 vezes em motores com enrolamento em série auxiliar. Por via de regra são permissíveis sobrecargas que excedem o valor de 1,6 vezes o conjugado nominal , especialmente quando o motor está na partida. Como sobrecargas permissíveis dependem do tipo e da utilização do motor, recomenda-se fazer consultas prévias.
Na Tabela 5.8.1 pode ser verificado o tempo máximo admissível, para vários valores de sobrecarga, quando a máquina estiver na temperatura nominal.

Tabela 5.8.1. - Tempo Máximo de Sobrecarga.

Sobrecarga (I/In)	**Tempo máximo de sobrecarga (s)**	
	DC(N)F, DC(N)D, DC(N)S, DC(N)X, DC(N)A	**DC(N)E**
1,1	260	520
1,2	160	200
1,3	60	120
1,4	45	80
1,5	30	60
1,6	25	50
1,7	20	40
1,8	15	30
2,0	13	26

Na figura 5.8.1. pode ser vista a variação aproximada da corrente e do conjugado em sobrecargas, para máquinas não compensadas.

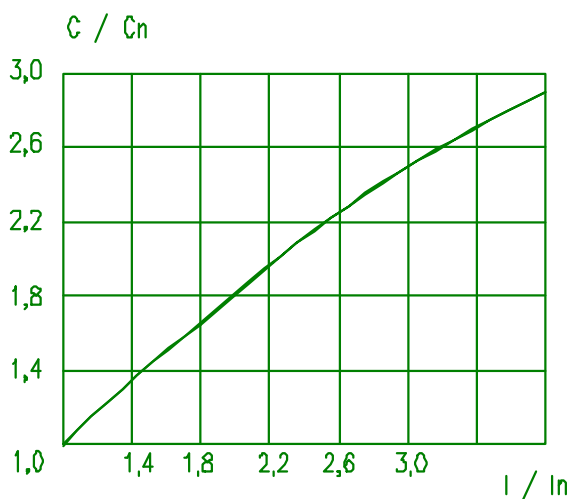



Figura 5.8.1. - Relação aproximada da variação de corrente em função do conjugado (máquinas não compensadas).

5.9. SOBRECARGAS DINÂMICAS EM MCC COM EXCITAÇÃO INDEPENDENTE

Os modernos acionamentos por corrente contínua muitas vezes requerem curtos períodos de aceleração e reversão. Isto exigirá altas taxas de variação da corrente.

Devido à construção do circuito de campo de comutação em chapas laminadas, podem ser feitas praticamente todas as taxas de variação da corrente. É praxe se relacionar a velocidade de mudança da corrente, bem como variação da corrente, à corrente nominal da máquina.

$$\frac{di}{dt}\left(\frac{In}{s}\right) \qquad i\,(In)$$

Onde:
In - corrente nominal.
i - variação total da corrente.

Valor admissível:

$$\frac{di}{dt} = 200 \,.\, K1 \,.\, K2 \,.\, \sqrt{\frac{In}{I}} \,.\, \sqrt{\frac{nN}{n}}$$

Onde o fator K1 é:
1,0 - DC(N)F, DC(N)D, DC(N)X, DC(N)W
1,2 - DC(N)A
3,0 - DC(N)E

Onde o fator K2 é:

1,0 (aquecimento classe F - t = 100°C)
1,1 (aquecimento classe B - t = 80°C)

In , nN = valores nominais de corrente e rotação
I - corrente de sobrecarga
n - velocidade com enfraquecimento de campo (quando não existir $\frac{nN}{n} = 1$)

6. CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

6.1. CARCAÇA

Todos os motores são fabricados com carcaças laminadas. O sistema polar é estampado de chapas com pólos fixos, nas alturas do eixo de 90 a 132mm. Os tipos com alturas de eixo acima de 132mm recebem pólos parafusados, acomodados em ranhuras.
Em ambos os casos é alcançada elevada precisão divisória, o que vem a beneficiar a confiabilidade da comutação.

Devido ao formato especial dos pólos principais, manteve-se baixa a reação da armadura e, consequentemente, a distorção do campo do entreferro.
Todas carcaças são soldadas sob pressão através de 4 barras de aço chato a sólidos anéis laterais nos dois lados, e que são usinados para encaixe das tampas de ferro fundido.
Nos modelos DC(N)E, três lados da carcaça recebem aletas de alumínio, para dissipação do calor.

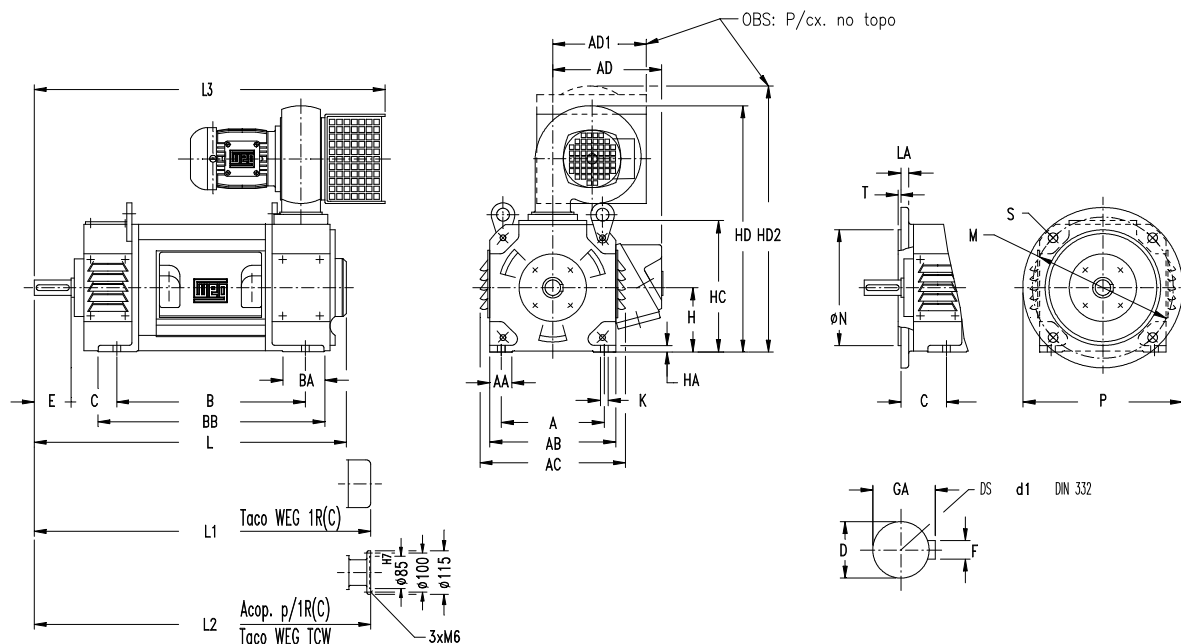



Figura 6.1.1. - Principais dimensões.

6.2. FORMA CONSTRUTIVA

As formas construtivas mais usuais são mostradas nos desenhos a seguir. A identificação utilizada está de acordo com as normas DIN, IEC e ABNT.

Acima da carcaça 31... todas as máquinas são fornecidas com pés, também nos tipos flangeados. Nas máquinas flangeadas com trocador de calor é necessário uma fixação com pés adicionais.

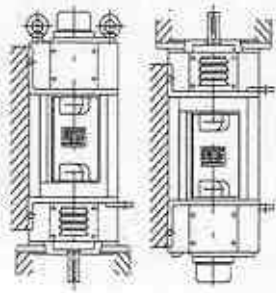
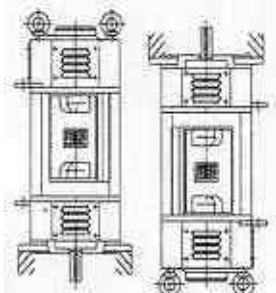
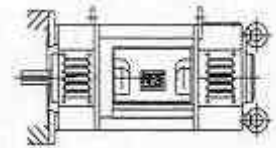
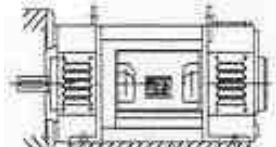
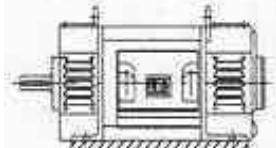



Figura 6.2.2. - Formas construtivas.

6.3. ACOPLAMENTOS

A única restrição para acoplamentos, por exemplo, tacogerador e/ou freio, ocorre no caso de motores com ventilação axial tipo DC(N)X. Neste caso deverá ser feita consulta à fábrica.

6.4. ROLAMENTOS

Todos os motores são fabricados com rolamentos antifricção.
As máquinas até a carcaça 132 possuem rolamentos com lubrificação permanente. Da carcaça 160 em diante os rolamentos possuem dispositivos de relubrificação.
As carcaças 90 a 132 também podem ser fornecidas com dispositivos de relubrificação conforme pedido.
Da carcaça 225 em diante, o dispositivo de relubrificação é previsto com regulador de graxa que automaticamente previne a superlubrificação.
A primeira lubrificação é suficiente para 1 a 2 anos de operação, dependendo do tipo do motor e velocidade, considerando um funcionamento contínuo de 8 horas/dia aproximadamente.
Em geral, os rolamentos normais também são usados para as formas construtivas verticais, se altas velocidades e pesados acoplamentos não forem usados. Caso contrário deve ser consultada a fábrica.

6.5. PONTAS DE EIXO

As pontas de eixo são executadas com ranhura axial fechada para alojamento de chaveta, cujas dimensões estão de acordo com a Norma IEC publicação 72 edição 1971 e ABNT NBR 5432.
As chavetas estão de acordo com a norma DIN 6885, folha 1 e são sempre fornecidas com a máquina.
Com exceção do tipo DC(N)X, todas as máquinas podem ser fornecidas com dupla ponta de eixo, diferentes diâmetros, diferentes comprimentos ou pontas cônicas.

6.6. ACIONAMENTO

O alinhamento dos eixos deve ser feito com muito cuidado. Conjunto motogeradores montados sobre base comum, devem ser alinhados após a base ter sido instalada na sua fundação.

As forças radiais nas pontas de eixo, por exemplo devido a correias ou engrenagens, não devem ultrapassar os valores dados nos diagramas de Forças Radiais Admissíveis que se encontram no Manual de Instalação.

6.7. VIBRAÇÃO

A vibração de uma máquina elétrica está intimamente relacionada com sua montagem e por isso é geralmente desejável efetuar as medições de vibração nas condições reais de instalação e funcionamento. Contudo, para permitir a avaliação do balanceamento e da vibração de máquinas elétricas girantes, é necessário efetuar tais medições com a máquina desacoplada, sob condições de ensaio determinadas conforme itens 6.7.1 a 6.7.3 de forma a permitir a reprodutividade dos ensaios e obtenção de medidas comparáveis.

6.7.1. Suspensão Livre

Esta condição é obtida pela suspensão da máquina por uma mola ou pela montagem desta máquina sobre um suporte elástico (molas, borrachas, etc.). A deformação da base elástica em função da rotação da máquina deve ser no mínimo igual aos valores da tabela 6.7.1.
A massa efetiva do suporte elástico não deve ser superior a 1/10 daquela da máquina a fim de reduzir a influência da massa e dos momentos de inércia das partes do suporte elástico sobre o nível de vibração medido.

Tabela 6.7.1. - Deformação elástica da base.

Rotação nominal (rpm)	Deformação da base elástica (mm)
3600 1800 1200 900	1,0 4,5 10 18

6.7.2. Chaveta

Para o balanceamento e medição da severidade de vibração de máquinas com o rasgo de chaveta na ponta de eixo, este deve ser preenchido com meia chaveta, recortada de maneira a preenchê-lo até a linha divisória entre o eixo e o elemento a ser acoplado.
Nota: Uma chaveta retangular de comprimento idêntico ao da chaveta utilizada na máquina em funcionamento normal e meia altura normal (que deve ser centrada no rasgo de chaveta a ser utilizado) são aceitáveis como práticas alternativas.

6.7.3. Pontos de Medida

As medições da severidade de vibração devem ser efetuadas sobre os mancais, na proximidade do eixo, em três direções perpendiculares, com a máquina funcionando na posição que ocupa sob condições normais (com eixo horizontal ou vertical).

A tabela 6.7.2 indica valores admissíveis para a máxima velocidade de vibração para as carcaças IEC 56 a 400, dentro dos graus de balanceamento: normal, reduzido e especial.

Tabela 6.7.2. - Limites recomendados para severidade de vibração, conforme NBR 11390 e IEC 34-14.

Balancea-mento	Velocidade	Máximo valor eficaz da velocidade de vibração para a altura H do eixo		
	rpm da máquina	90 a 132	160 a 225	250 a 400
		mm/s	mm/s	mm/s
N (normal)	600 a 1800 1800 a 3600	1,8 1,8	1,8 2,8	2,8 4,5
R (reduzida)	600 a 1800 1800 a 3600	0,71 1,12	1,12 1,8	1,8 2,8
S (especial)	600 a 1800 1800 a 3600	0,45 0,71	0,71 1,12	1,12 1,8

Notas:
1. Para valores de pico multiplicar os valores da tabela por 2.
2. Os valores da tabela acima são válidos para medições realizadas com a máquina a vazio e desacoplada, funcionando na freqüência e tensão nominais.
3. Para máquinas de giram nos dois sentidos, os valores da tabela se aplicam para ambos os sentidos
4. A tabela acima não se aplica a máquinas montadas no local de instalação (ver ISO 3945 e ISO 2372) ou máquinas acopladas a suas máquinas de acionamento ou cargas acionadas.

6.8. BALANCEAMENTO

Conforme a norma NBR-8008, balanceamento é o processo que procura melhorar a distribuição de massa de um corpo, de modo que este gire em seus mancais sem forças de desbalanceamento.

Tabela 6.8.1. - Tipos de Balanceamentos.

Balanceamento	TIPO DE MÁQUINA
Normal (N)	Máquinas sem requisitos especiais, tais como: Máquinas gráficas, laminadores, britadores, bombas centrífugas, máquinas têxteis, transportadores, etc.
Reduzido (R)	Máquinas de precisão para trabalho sem vibração, tais como: Máquinas a serem instaladas sobre fundamento isolado à prova de vibração, madriladoras e fresadoras de precisão, tornos, furadeiras de coordenadas, etc.
Especial (S)	Máquinas para trabalho de alta precisão, tais como: Retíficas, balanceadores, mandriladora de coordenadas, etc.

6.9. ESCOVAS E PORTA-ESCOVAS

O dispositivo das escovas consiste de um anel com porta-escovas. Até a carcaça 132 este porta-escovas é fixado diretamente no anel; em carcaças maiores é fixado por intermédio de uma régua ranhurada. De conformidade com o passo polar, a divisão exata dos porta-escovas é cuidadosamente ajustada pelo fornecedor. A zona neutra é assinalada de forma distinta. Escovas de carvão são fornecidas por renomados fabricantes e selecionadas de conformidade com as condições de serviço que se destinam.

6.10. COMUTADOR

Os comutadores normais utilizados em nossas máquinas são os do tipo rabo de andorinha.
Os segmentos dos comutadores são de cobre eletrolítico, de trefilação dura, sendo isolados entre si por placas prensadas de mica.

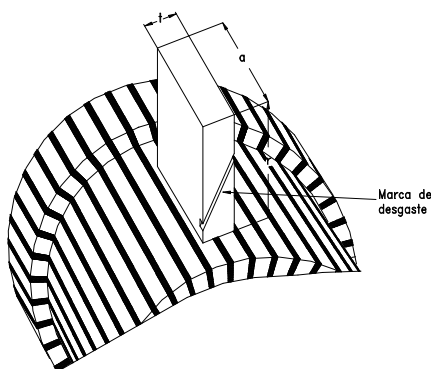



Figura 6.10.1. - Comutador.

Dividimos os comutadores com rabo de andorinha em dois tipos:

Bandeira: Onde as ligações do enrolamento da armadura são feitas às bandeiras.

Pente: Onde as ligações do enrolamento da armadura são entranhadas diretamente no ressalto do comutador (pente).

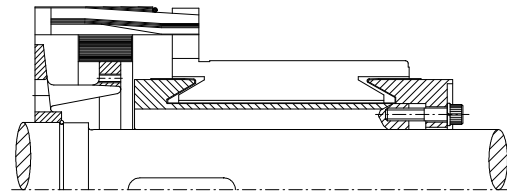



Figura 6.10.2. - Comutador tipo Bandeira e Pente.

6.11. PLACA DE IDENTIFICAÇÃO

Quando o fabricante projeta um motor e o oferece à venda, ele tem que partir de certos valores adotados para:

- Características da rede elétrica de alimentação do motor;
- Características da carga a ser acionada;
- Condições em que o motor irá funcionar.

O conjunto desses valores constitui as "Características Nominais" do motor. O fabricante comunica estas informações ao cliente através da placa de identificação do motor.

Figura 6.11.1. - Placa de Identificação.

6.12. PINTURA

A pintura destes motores consiste de duas camadas

FUNDO:
Após a limpeza, as peças são pintadas com tinta fundo primer sintético alquídico, aplicada por imersão ou pulverização.
A espessura da película seca é de 30 a 40 µm (microns).

ACABAMENTO:
A pintura final, feita após a máquina completamente montada, consiste de uma demão de tinta de acabamento de esmalte sintético alquídico, aplicada por pulverização.
A espessura da película seca total é de 60 a 80 µm (microns).

6.13. SUSPENSÃO DE INTERFERÊNCIAS DE FAÍSCAS

O grau "G" (eliminação básica de interferências) é obtido pela ligação simétrica dos pólos da comutação à armadura.
Os graus "N" (supressão normal) e "K" (supressão fina) exigem medidas especiais, com ligação de capacitores e bobinas.
O grau "G" é o normal, sendo suficiente para aplicação geral na indústria.

7. SELEÇÃO DE MOTORES CC

7.1. ESPECIFICAÇÃO DE UM MOTOR CC

Para a correta especificação do motor, são necessárias as seguintes informações na consulta:

1. Potência Nominal (kW);
2. Regime de serviço ou descrição do ciclo de trabalho;
3. Velocidade nominal (rpm);
4. Velocidade máxima com enfraquecimento de campo (rpm);
5. Velocidade mínima de trabalho (rpm);
6. Tensão de armadura (Vcc);
7. Tensão de campo (Vcc);
8. Fonte:
   - CC pura (gerador ou baterias);
   - Conversor trifásico;
   - Conversor monofásico semi-controlado;
   - Conversor monofásico totalmente controlado.
9. Tensão da rede CA.
10. Freqüência da rede.
11. Tensão de alimentação dos aquecedores internos (quando necessários).
12. Grau de proteção da máquina ou especificação da atmosfera ambiente.
13. Temperatura ambiente.
14. Altitude.
15. Proteção Térmica.
16. Sentido de rotação (horário ou anti-horário, olhando-se pelo lado acionado).
17. Sobrecargas ocasionais.
18. Momento de inércia da carga e a que rotação está referido.
19. Cargas axiais e seu sentido, quando existentes.

7.2. CARACTERÍSTICAS DE CONJUGADO

As características de funcionamento de uma máquina quanto ao conjugado podem ser divididas em quatro grupos:

1) $C_R \sim \frac{1}{n}$

O conjugado resistente, com o aumento da rotação, torna-se menor. Neste caso o maior conjugado ocorre na menor rotação ajustada.
A potência, por sua vez, permanece constante.
Exemplos:
- Bobinadeira.
- Torno de faceamento.
- Descascador circular.

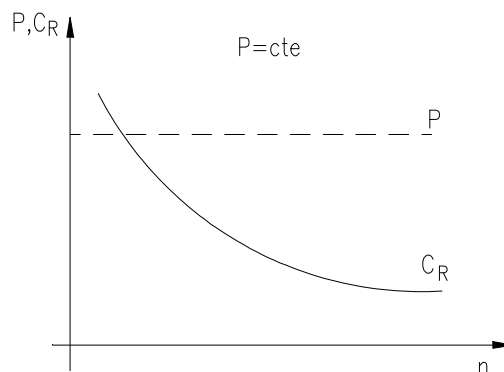



Figura 7.2.1. - Conjugado inversamente proporcional à rotação.

2) C_R = constante

Este é o tipo da carga que mais ocorre. O conjugado é constante em toda a faixa de variação da rotação. Isto significa que a potência cresce de forma linear com a rotação .

Exemplos:
- Equipamento de elevação.
- Plaina.
- Laminador.
- Máquina operatriz de conformação.
- Correia transportadora.

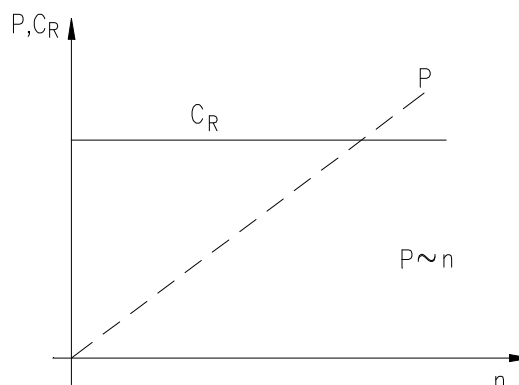



Figura 7.2.2. - Conjugado constante.

3) $C_R \sim n$

O conjugado da carga cresce linearmente com a rotação. A potência, por sua vez, aumenta com o quadrado da rotação.

Exemplo:
- Calandra com atrito viscoso.

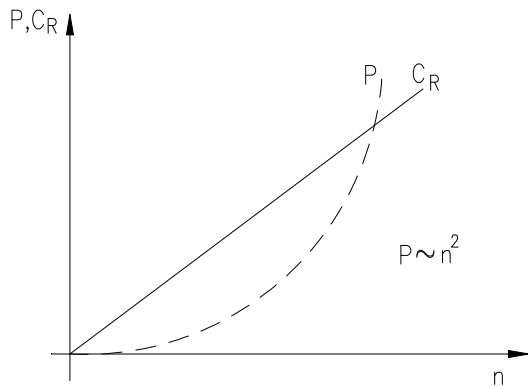



Figura 7.2.3. - Conjugado diretamente proporcional à rotação.

4) CR ~ n²

O conjugado crescendo proporcionalmente com o quadrado da rotação resulta para a potência em uma variação ao cubo.

Exemplos:
- Bombas.
- Ventiladores centrífugos.

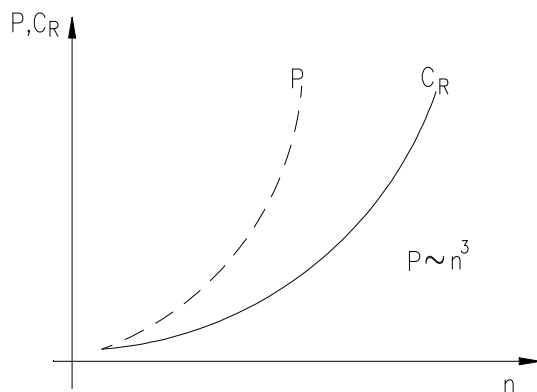
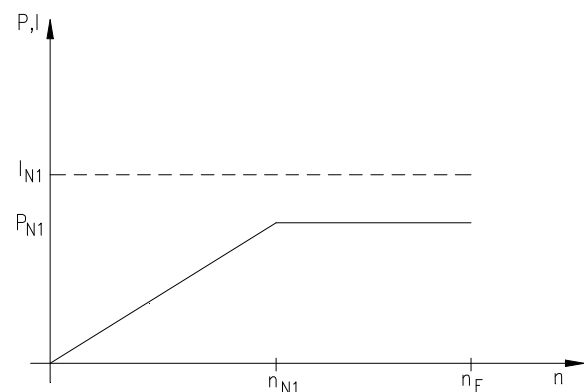



Figura 7.2.4. - Conjugado proporcional ao quadrado da rotação.

7.3. ESCOLHA DO MOTOR ADEQUADO

Para o dimensionamento do motor, geralmente consideramos o conjugado motor, para todas as rotações, levemente superior ao que a carga exige.
Para a maioria das máquinas é suficiente um conjugado de 100% na partida. Existem máquinas que solicitam um conjugado da ordem de 150 a 250% do nominal, como compressores, misturadores e laminadores. A limitação da corrente de armadura deve ser ajustada no conversor ao correspondente conjugado de partida exigido. Recomenda-se não ultrapassar o limite de 2,2 vezes a corrente nominal, devido aos problemas de comutação que ocorreriam acima deste valor.
Para determinar a potência nominal e a faixa de operação do motor (controle pela armadura ou pelo campo) faz-se uma análise de como o conjugado resistente da carga a ser acionada varia em função da rotação. Para conjugados resistentes constantes (grupo 2) ou que aumentam com a velocidade (grupos 3 e 4), é comum especificar motores que operam na faixa de controle da armadura. Neste caso a rotação nominal do motor é igual à máxima rotação exigida pela carga (referida ao eixo do motor).
O acionamento de cargas cujo conjugado decresce a partir de uma determinada rotação pode ser feito por um motor que trabalhe com enfraquecimento de campo desde esta rotação, considerada como a nominal (nN), até a máxima velocidade exigida (nF).
Na faixa de controle de campo o motor opera com potência constante, solicitando do acionamento uma corrente menor do que se o controle se realizasse pela armadura em toda a faixa de rotações.

a) Controle pela armadura e pelo campo.

b) Controle somente pela armadura.

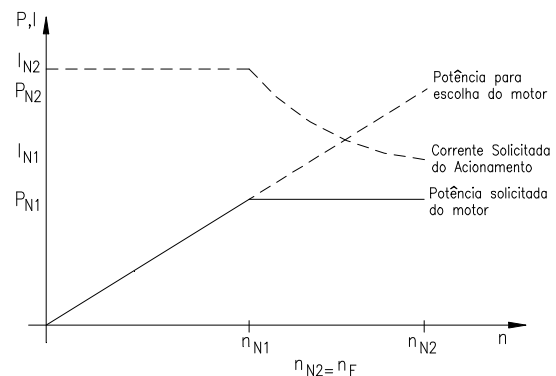



Figura 7.3. - Faixa de operação de motor CC com excitação independente.

Na figura 7.3a (controle pela armadura + controle pelo campo), a corrente máxima solicitada do acionamento é igual à nominal do motor (IN1). Se a mesma carga for acionada somente pelo controle da armadura (figura 7.3b), será necessário um conversor que forneça uma corrente mais elevada, resultado da redução da tensão de armadura para chegar à rotação nN1.

Para acionar a carga considerada, o tamanho do motor será o mesmo para as duas formas de controle (armadura + campo ou somente armadura),desde que sejam observados os limites de comutação da máquina. A potência nominal do acionamento para o controle de armadura depende da relação nF/nN1:

$$IN2 = IN1.\frac{nF}{nN1} = IN1.\frac{nN2}{nN1}$$

Como UaN = fixo e PN = UaN . IN . η, então:

$$PN2 = PN1.\frac{nF}{nN1} = PN1.\frac{nN2}{nN1}$$

Motores com enfraquecimento de campo necessitam uma fonte CC de nível variável (normalmente um conversor tiristorizado) para alimentar o enrolamento de excitação. Apesar dessa fonte ser de potência reduzida, ela representa um ônus a mais ao comprador. Isso deve ser levado em conta ao se optar entre um motor com controle pela armadura e campo e um motor controlado somente pela armadura, principalmente quando a relação é pequena.
Devido a problemas que podem surgir na comutação, a faixa de enfraquecimento de campo deve ficar dentro dos limites a seguir:

$nf \leq 4 . nN$ em máquinas sem enrolamento de compensação.
$nF \leq 5 . nN$ em máquinas compensadas.

Uma das características mais importantes das máquinas CC e que justamente leva à utilização em vários tipos de acionamento é a ampla faixa de rotações em que elas podem operar com conjugado constante. Os motores tipo DC(N)F, DC(N)D, DC(N)X, DC(N)E, DC(N)W podem fornecer o conjugado nominal desde 20 rpm até a rotação nominal sem problemas de sobreaquecimento.

Já ao especificarmos motores auto-ventilados tipo DC(N)S, devemos indicar claramente a rotação mínima de operação. Nestes motores a eficiência da ventilação diminui com o cubo da rotação, o que significa maior aquecimento da máquina em rotações menores. Portanto, quanto menor a rotação mínima de trabalho exigida de um motor tipo DC(N)S, maior será a carcaça especificada para uma mesma potência nominal. Por esse motivo, geralmente utiliza-se motores auto-ventilados apenas em acionamentos cuja a rotação mínima é superior a certos valores. Rotação mínimas de 300 rpm e 1000 rpm são valores típicos.

Para acionamento de cargas cuja potência varia no tempo segundo um ciclo de trabalho, especificamos um motor que possa suprir a potência equivalente do ciclo.

Esse cálculo, porém, considera apenas o equivalente em termos de aquecimento da máquina, sem levar em consideração possíveis problemas de comutação, densidades de corrente superiores às admissíveis nas escovas ou torques exagerados solicitados do eixo. Caso a maior potência exigida pela carga no ciclo de trabalho exceda em muito a potência equivalente (>2.Peq), mesmo que seja por um pequeno intervalo de tempo, deverá ser consultada a fábrica para uma análise da necessidade de um projeto eletromecânico especial ou da especificação de um motor mais robusto.

8. ENSAIOS

A finalidade deste capítulo é definir os ensaios que podem ser realizados por solicitação de cliente, com ou sem presença de inspetor.

São agrupados em 4 grupos, conforme definido na norma NBR 5116.

- Ensaio de Rotina.
- Ensaio de Tipo.
- Ensaio de Protótipo.
- Ensaio Especial.

Qualquer outro, não abrangido pelos citados, deverá ser objeto de acordo específico entre a WEG e o cliente.

8.1. ENSAIOS DE ROTINA

- Ensaio de resistência elétrica a frio.
- Ajuste da zona neutra.
- Ensaio em carga.
- Ensaio de comutação.
- Ensaio de medição de vibração.
- Ensaio de tensão suportável.
- Medição da resistência do isolamento.

8.2. ENSAIOS DE TIPO E PROTÓTIPO

Constituem os ensaios de rotina e mais os seguintes:
- Ensaio de elevação de temperatura.

8.3. ENSAIOS ESPECIAIS

Constituem os ensaios de tipo ou especiais mais os seguintes:
- Ensaio de saturação em vazio.
- Ensaio de vazio para determinação das perdas.
- Ensaio de sobrevelocidade.
- Medição do nível de ruído.
- Análise de vibração, em freqüência.
- Perdas W/kg em chapas.